

CHALMERS



Kvalitetsstyrning av bräddavlopp – exemplifierat på Krokängsparken, Göteborg

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad

STEFAN JIVERÖ
FREDRIK TORSTENSSON

Institutionen för Bygg- och miljöteknik
Vatten Miljö Teknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2006
Examensarbete 2006:19

EXAMENSARBETE 2006:19

Kvalitetsstyrning av bräddavlopp – exemplifierat på Krokängsparken, Göteborg

Stefan Jiverö
Fredrik Torstensson

Institutionen för Bygg- och Miljöteknik
Vatten Miljö Teknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2006

Kvalitetsstyrning av bräddavlopp – exemplifierat på Krokängsparken, Göteborg
STEFAN JIVERÖ
FREDRIK TORSTENSSON

© STEFAN JIVERÖ, FREDRIK TORSTENSSON, 2006

Examensarbete 2006:19

Institutionen för Bygg- och Miljöteknik
Vatten Miljö Teknik
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Reproservice, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, Sverige 2006

Kvalitetsstyrning av bräddavlopp
– exemplifierat på Krokängsparken, Göteborg
STEFAN JIVERÖ
FREDRIK TORSTENSSON
Institutionen för Bygg- och Miljöteknik
Vatten Miljö Teknik
Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

Delar av Göteborgs avloppssystem är kombinerat. Detta innebär att spill-, drän- och dagvatten avleds tillsammans i ledningssystemet istället för i separata ledningar. Vid kraftiga regn eller snösmältning klarar ledningssystemet inte av att ta hand om hela mängden vatten, utan risk för översvämningar eller överbelastning av reningsverk. Den volym vatten som överstiger ledningarnas kapacitet avleds istället till en recipient genom ett bräddavlopp. Detta sker på flera ställen runt om i Göteborg och kallas för bräddning. I Göteborg finns 140 ca bräddpunkter.

Examensarbetet syftar till att kartlägga en bräddpunkt i Göteborg - Krokängsparkens bräddavlopp - samt titta på hur föroreningsbelastningen på recipienten Göta Älv kan minskas genom att styra avloppsvattnet. För att göra detta har en detaljerad datormodell att konstruerats.

Kvalitetsstyrning innebär att man för vatten med höga föroreningskoncentrationer till reningsverket, medan vatten med lägre koncentrationer bräddas. Vid ett nederbördstillfälle kommer föroreningskoncentrationerna i avloppsvattnet att variera över tiden. Den högsta föroreningskoncentrationen uppträder i regel i samband med bräddstart, eller i vart fall senast när bräddflödet når sitt maxvärde för att sedan klinga av.

Modellen har konstruerats med hjälp av MIKE URBAN. En detaljerad modell byggdes upp av avrinningsområdet för att få en så verklighetstrogen modell som möjligt. Med hjälp av modellen gjordes sedan simuleringar där det undersöktes hur känslig modellen är för olika regn och vilket som är farligast för området med avseende på översvämning, samt en kartläggning över bräddavloppets egenskaper. När detta förhållande var utrett togs det fram ett antal åtgärder som är tänkta att förbättra bräddflödet.

Den föreslagna åtgärden består av att styrning sker genom ett reglerbart skibord. Skibordet styrs av en flödes- eller nivåsensor i bräddbrunnen. Vid ökat flöde eller nivå höjs skibordet och mer vatten tillåts föras till reningsverket under en bestämd tid. Denna åtgärd gav med 100 minuters styrning 55 % i minskad årsvolym för 2005.

Ytterligare åtgärder som föreslagits är att installera en skumskärm och ett rensgaller

Nyckelord: Kombinerat system, MOUSE, RTC, Kvalitetsstyrning, modellering i avloppssystem

Wastewater quality controlled overflows
– case Krokängsparken, Gothenburg
STEFAN JIVERÖ
FREDRIK TORSTENSSON
Department of Civil and Environmental Engineering
Water Environment Technology
Chalmers University of Technology

Abstract

Parts of the sewer systems in Gothenburg are combined. This means that storm- and wastewater is being diverted together instead of being separately treated. When heavy rains or snowmelting occurs, the sewer system can't process the whole amount of water without causing a risk of flooding or overflow in the sewage treatment facility. The volume that exceeds the capacity of the sewer system is being diverted to a recipient through a combined sewer overflow (CSO). There are approximately 140 CSOs in Gothenburg.

This thesis work aims to map a CSO in Krokängsparken, Gothenburg, as well as look at this CSO's outlet of pollutants to the recipient, Göta Älv through quality control. In order to accomplish this, a detailed computer model has been constructed. Earlier the Water and Wastewater Works of Gothenburg has used a very simplified model that hasn't been able to simulate the transport of pollutants accurately.

Wastewater quality control means that water with a high concentration of pollutants is being diverted to the sewage treatment plant, while water with lower concentration is being allowed to be led to the recipient. During a rainfall, the concentration of pollutants will vary over the time. The highest concentrations of pollutants generally occur in the beginning of the rainfall or at the latest, when the rain intensity is at its peak and then subside.

The model that has been used was constructed in the program MIKE URBAN. In the thesis work the model was built to consider as many aspects of the sewer system as possible, to give the model a realistic feature. The aim of the model was to run advanced simulations where pollutants from storm- and wastewater were simulated and calculated.

The chosen alternative contains a controlled weir. The weir is functioned through a flow- or level sensor in the CSO. When an increased flow or a heightened level is noticed by the sensor, the weir is raised and more water is diverted to the sewage treatment plant through the bigger pipe, an Ø600 instead of an Ø400, under a time of 100 minutes to divert the First Flush. This chosen alternative gave a reduced CSO volume by approximately 55 % using the rain data from 2005.

Further measures that have been proposed are to install a dip-plate and a screen of bars.

Keywords: CSO, RTC, MOUSE, wastewater quality control, CS modelling

Förord

Detta examensarbete har utförts vid institutionen för Vatten-, Miljö och Transport i samarbete med Göteborgs va-verk och DHI, Göteborg.

Förberedelsen och utförandet av examensarbetet utfördes på va-verkets kontor på Norra Hamngatan 8, där vi inhämtade muntlig och skriftlig information för att kunna utföra detta arbete. Därefter gjordes resten av examensarbetet på DHI:s kontor i Göteborg.

Ett stort tack till våra handledare Gilbert Svensson på DHI och Fredrik Bergh på Göteborgs va-verk som hållit oss på rätt kurs genom arbetet och givit oss en hel del intressanta infallsvinklar. Vi vill även tacka Sven Särnbratt som hjälpt oss med fältarbetet och mycket annat och som alltid ställt upp i vått och torrt.

Vi vill även tacka övriga anställda på Göteborgs va-verk och DHI som har hjälpt oss och visat intresse av vårt arbete. Ni är för många för att nämnas vid namn. Alla har bemött oss vänligt och med stor entusiasm, ställt upp med tid och information när vi fastnat i VA-teknikens katakomber.

Göteborg, mars 2006

Stefan Jiverö
Fredrik Torstensson

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	i
Abstract.....	iii
Förord	v
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Miljömål och styrmedel	2
1.2.1 Regionala mål	3
1.2.2 Lokala mål	3
1.3 Lagar och direktiv	4
1.4 Syfte	4
1.5 Avgränsningar	5
1.6 Metod	5
2 Historik	7
3 Beskrivning av kombinerade system.....	9
3.1 Fördelar med kombinerade system	9
3.2 Nackdelar med kombinerade system.....	10
4 First Flush.....	11
5 Problem med utsläpp av avloppsvatten till recipienten	13
5.1 Fosfor	13
5.2 Kväve	13
5.3 Tungmetaller	14
5.4 Organiskt material	14
6 Bräddpunkter och påverkan på recipienten	15
6.1 Beskrivning av recipient.....	15
7 Kvalitetsstyrning	17
7.1 Positiva effekter.....	17
7.2 Negativa effekter	17
7.3 Styrsystem	18
7.4 Styrande parametrar	18
7.5 Tidigare kvalitetsstyrning i Europa och Sverige	19
7.5.1 Europa.....	19
7.5.2 Sverige	20
8 Avrinningsområde för BB4526 - Krokängsparken	21
9 Fältundersökningar	23
9.1 Nederbördsobservationer	23
9.2 Flödes- och nivåmätningar	23
10 Beskrivning av bräddavlopp.....	25
10.1 BB4526 – Krokängsparken	25
10.1.1 Utformning	25
10.2 BB4525 – Danagatan	27
10.3 Beskrivning av utjämningsmagasin	28
11 Beskrivning av Datorprogram.....	29
11.1 MIKE URBAN.....	29
11.2 MOUSE	29
11.3 ArcMap.....	30
11.4 MIKEVIEW	30
12 Arbetsgång för konstruktion av MOUSE-modell.....	31

12.1 Ledningsnät	31
12.2 Spillvattenförbrukning	31
12.3 Avrinningsområden i modellen	32
12.4 Bräddavlopp och magasin	33
12.4.1 Beräkning av Q/h-samband - Krokängsparken.....	33
12.4.2 Beräkning av Q/h-samband - Danagatan	34
12.4.3 Beräkning av Q/h-samband - Magasin	34
12.5 Föroreningstransport	35
12.6 Förenklingar och antaganden i modellen	36
12.7 Kalibrering av MOUSE-modellen	36
12.8 Verifiering av MOUSE-modellen	37
12.9 Svagheter i modellen	38
13 Åtgärdsförslag för kvalitetsstyrning	39
13.1 Förutsättningar	39
13.1.1 Mottagarkapacitet	39
13.1.2 GRYAAB:s inställning.....	40
13.1.3 Praktisk och ekonomisk genomförbarhet	40
13.2 Åtgärdsförslag 1A – Begränsad kapacitet.....	41
13.3 Åtgärdsförslag 1B – Begränsad kapacitet	41
13.4 Åtgärdsförslag 2A – Begränsad kapacitet.....	42
13.5 Åtgärdsförslag 2B – Begränsad kapacitet	42
13.6 Åtgärdsförslag 3 – Obegränsad kapacitet.....	43
13.7 Driftsäkerhet och konsekvenser vid fel.....	43
15 Resultat	47
15.1 Analys av Krokängsparkens bräddavlopp.....	47
15.2 Jämförelse med va-verkets befintliga modell.....	48
15.3 analys av styråtgärder	51
15.3.2 Rekommendationer.....	51
15.4 Slutsatser	52
15.4.1 Fortsatt utredning.....	52
16 Diskussion	55
17 Referenser	57
17.1 Litteratur.....	57
17.2 Övrig Litteratur	59
18 Bilagor	61

1 Inledning

I följande kapitel ges en beskrivning av bakgrunden till examensarbetet. Kapitlet syftar till att ge en helhetsförståelse för varför examensarbetet initierats.

1.1 Bakgrund

Delar av Göteborgs avloppssystem är kombinerat. Detta innebär att spill-, drän- och dagvatten avleds tillsammans i ledningssystemet istället för i separata ledningar. Vid kraftiga regn eller snösmältning klarar ledningssystemet inte av att ta hand hela mängden vatten utan risk för överbelastning av ledningsnät och reningsverk. Den volym vatten som överstiger ledningarnas kapacitet avleds istället till en recipient genom ett bräddavlopp. Detta sker på flera ställen runt om i Göteborg och kallas för bräddning. I Göteborg finns cirka 140 bräddpunkter av varierande storlek. Bräddning av kombinerat avloppsvatten orsakar miljöbelastningar på recipienten eftersom det innehåller flera ämnen som kan verka mycket skadligt för miljön.

Graden av påverkan beror bland annat på typ av avrinningsområde, utspädningsgrad och recipientens tålighet. Recipienter som varje år tar emot stora bräddvolymmer i förhållande till sin storlek, kan påverkas avsevärt [1; 2].

Tidigare fokuserades miljöproblemet med bräddning av kombinerat avloppsvattnet till de föroreningar som kunde härledas till spillvattnet. Därför ansågs länge den bästa lösningen vara att bygga bort problemet genom att ersätta de kombinerade systemen med duplikatsystem och på så sätt kunna ta hand om allt spillvatten medan dagvattnet bräddades.

På senare tid har dock problemet med föroreningar i dagvattnet aktualiserats i och med den ökade mängd förorenat dagvatten som bildas i urbana områden vid nederbörd. I stadsmiljö finns det relativt få markytor där infiltration kan ske. Istället sker avledningen av dagvattnet till ledningsnätet via hårdgjorda ytor som vägar och tak. På dessa hårdgjorda ytor ackumuleras föroreningar från trafiken och atmosfäriskt nedfall mellan nederbördstillfällena för att vid nästa regntillfälle sköljas med dagvattnet ner i ledningssystemet. Avloppsvattnet för också med sig organiskt material, som i recipienten genomgår en nedbrytningsprocess där syre förbrukas. Detta kan leda till syrebrist och bottendöd. Istället för fortsatta storskaliga förändringar bör det befintliga avloppssystemet därför renodlas och utvecklas [4].

Bräddning av avloppsvatten utgör således ett uppenbart miljöproblem med varierande konsekvens beroende på utsläppet och mottagande recipients storlek, bräddfrekvens och avrinningsområdets egenskaper. För att minska eller eliminera bräddningen finns flera olika metoder att tillgå och många av dem är testade världen över. Det man främst gör är att styra vattenflödet på olika sätt, vilket sker genom fördröjning och magasinering, men även intelligent styrning som datorövervakning.

En metod för att minska föroreningsbelastningen på recipienten är att kvalitetsstyra avloppsvattnet. Kvalitetsstyrning innebär att vatten med höga föroreningskoncentrationer styrs till reningsverket medan vatten med lägre koncentrationer bräddas.

Det finns även möjlighet att rena vattnet lokalt innan utsläpp till recipienten sker. Användningen och erfarenheten av denna metod är inte särskilt stor mycket beroende på svårigheterna och kostnaderna att göra detta till ett bra alternativ. Det är svårt att motivera exempelvis biologisk och kemisk rening med hänsyn till kostnaden för byggande och underhåll jämfört med den samhällsekonomiska vinsten. Detta gäller i synnerhet för mindre bräddpunkter. Svårigheterna med mindre komplicerad rening, som till exempel mekanisk rening, är att det ständigt kräver underhåll och därför avfärdas som ett bra alternativ. Att rena avloppsvattnet vid enskilda bräddavlopp kräver därför att det är en stor bräddpunkt med stor påverkan på recipienten. Idag pågår dock forskning inom detta område för att ta fram enklare reningsmetoder som kan användas även för mindre bräddar för att på så sätt förbättra vattenkvaliteten i recipienten [1].

I vattendomstolens dom, DVA33 från 1976, lämnas fortsatt tillstånd att, vid kraftigt regn över områden med kombinerat avloppssystem, släppa ut avloppsvatten genom bräddavlopp med minst trefaldig utspädning i Göta Älv [5]. Enligt Naturvårdsverkets kungörelse (SNFS 1990:14), som handlar om kontroll av utsläpp till vatten- och markrecipient från avloppsanläggningar, anges att utsläppsvolymer vid överbelastning från ett nät med fler än 500 personekvivalenter ska kontrolleras genom mätning eller beräkning [5].

Med detta som bakgrund kräver Länsstyrelsen i Västra Götaland varje år inrapportering av bräddvolymer i kombinerade avloppssystem. För att beräkna de volymer som släpps ut från ledningsnätet via bräddavlopp, använder sig Göteborgs va-verk av simuleringsprogrammet MOUSE. Huvudparten av bräddavlopp som antingen bräddar till recipient, eller som påverkar andra bräddavlopp som bräddar till recipient, finns inlagda i MOUSE. Delsystemen har sedan kalibrerats mot handberäkningar och fältmätningar. För att beräkna mängden föroreningar utifrån bräddvolymer används schablonvärden, framtagna för spill- dag- respektive bräddvatten i Göteborg. Vill man ha en mer representativ bild för ett specifikt bräddavlopp görs kvalitetsmätningar av inkommande avloppsvatten [1].

1.2 Miljömål och styrmedel

Under FN:s konferens för miljö och utveckling (UNCED) i Rio de Janeiro 1992 antogs ett handlingsprogram för att skapa en global hållbar utveckling. Handlingsprogrammet döptes till Agenda 21, vilket står för dagordningen för det 21:a århundradet. Agenda 21 ger mål och riktlinjer för att uppnå en hållbar utveckling genom att undanröja hoten mot miljön [6].

Miljöarbetet världen över präglas idag av att uppnå en hållbar utveckling. En hållbar utveckling definieras i Brundtland-kommissionens rapport, Vår gemensamma framtid 1987 [7], enligt följande:

En hållbar utveckling tillgodoser dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillgodoses sina behov.

Från detta övergripande mål utgår allt miljöarbete ifrån och innefattar förutom ekologiska perspektiv även ekonomiska, kulturella och sociala. I den ekologiska dimensionen innefattas fyra punkter [6]:

- Skydd av atmosfären
- Hushållning av ändliga resurser
- Förnyelsebara resurser förbrukas inte snabbare än de nybildas
- Villkor för biologiskt liv försämrars inte

1.2.1 Regionala mål

I april 1999 fattade riksdagen ett beslut om 15 övergripande nationella miljö kvalitetsmål. Syftet med målen är att uppnå en hållbar utveckling enligt ovan givna definition. För att uppfylla dessa är huvudmålen uppdelade i delmål. Av de femton miljö kvalitetsmålen kan fem direkt relateras till utsläpp av avloppsvatten. Dessa fem är enligt följande [8]:

- Hav i balans samt levande kust och skärgård
- Levande sjöar och vattendrag
- Ingen övergödning
- Myllrande våtmarker
- Giftfri miljö

1.2.2 Lokala mål

En av uppmaningarna i Agenda 21 riktade sig till världens kommuner och uppmanade dem att upprätta lokala handlingsplaner samt att varje enskild människa ska ha möjlighet att delta och påverka, men även känna ansvar. I Göteborg pågår sedan 1993 ett aktivt Agenda 21-arbete. 1996 antog Göteborgs kommunfullmäktige en miljöpolicy som ligger till grund för all kommunal verksamhet. Denna miljöpolicy betonar relevansen att hushålla med naturresurser och minskningen av utsläpp till luft, mark och vatten [9].

Av Göteborg kommuns yta upptas cirka 3 % av olika slags vattendrag. Dessa regleras och skyddas i Göteborgs stads vattenplan. Den gällande vattenplanen, "Vatten såklart", för Göteborgs stad godkändes av kommunfullmäktige 2003. Planen syftar till att förbättra vattenkvaliteten i vattendragen i och omkring Göteborg. I planen framhålls vikten av att minska risken för övergödning av sjöar och vattendrag, på grund av tillförsel av näringsämnen från jordbruksmarker och spillvatten, genom att minska nödavledningen från duplikatsystemen och bräddning av avloppsvatten från det kombinerade avloppssystemet till vattendragen bland annat genom kvalitetsstyrning [10].

Göteborgs va-verk har utifrån detta utarbetat en åtgärdsplan för vatten- och avloppsverksamheten. Planen beskriver avloppssystemets funktion och definierar målen för avloppshanteringen, beskriver arbetsmetodik samt ger en handlingsplan med konkreta projekt. Åtgärdsplanen har tre övergripande mål [10].

- Avledningssäkerhet
- Ekonomisk effektivitet
- Minimal recipientpåverkan

I målet ”Minimal recipientpåverkan” är ett av direktiven att kvalitetsstyra det mest förorenade avloppsvattnet i kombinerade system och vid pumpstationer.

1.3 Lagar och direktiv

Förutom de ovan beskrivna miljömålen styrs kraven på behandling och utsläpp av avloppsvatten av flera lagar och direktiv.

I Europaparlamentet antogs 1991 direktivet om rening av avloppsvatten från tätbebyggelse, det så kallade avloppsdirektivet (91/27/EEG), mot bakgrund att obehandlat avloppsvatten tidigare var ett av de största vattenproblemen i EU. Avloppsdirektivet kräver bland annat att avloppsvatten, från och med 2005, ska genomgå minst sekundär rening (i normalfallet biologisk rening) samt anger minimikrav för kvaliteten hos det renade vattnet [11].

I Ramdirektivet för vatten som antogs år 2000 (2000/60/EG) fastslår Europaparlamentet följande [11].

Vatten är ingen vara vilken som helst utan ett arv som måste skyddas, förvaras, och behandlas som ett sådant.

I direktivet markeras vattenfrågornas vikt och syftet med ramdirektivet är att göra arbetet för att skydda Europas vatten mer entydigt och kraftfullt. De miljömål som anges i direktivet är av stor betydelse för att de nationella miljömålen ska uppnås och hur de skall uppnås [6; 12].

Nationellt styrs avloppshanteringen av miljöbalken som trädde i kraft 1999. I miljöbalken är vattenfrågorna väsentliga. Miljöbalkens syfte beskrivs i dess första paragraf och säger i korthet att balken syftar till att främja en hållbar utveckling och att reglerna ska tillämpas så att detta syfte uppnås [6].

1.4 Syfte

Det övergripande syftet för detta examensarbete går hand i hand med Agenda 21 och syftar således till att verka framåtskridande för skapandet och utvecklandet av en hållbar utveckling med avseende på vattenresurser och de andra områden som vattenanvändning berör. Examensarbetet följer de uppmaningar och krav som finns redovisade i vattenplanen för Göteborg.

Examensarbetets kan delas in i tre delsyften:

- En kartläggning av Krokängsparkens bräddavlopp ska genomföras för att se hur och om det fungerar enligt teorin.
- En jämförelse mellan va-verkets befintliga modell och den som byggs upp i examensarbetet för att se hur väl den befintliga modellen stämmer överens med verkligheten.
- Minska föroreningsbelastningen på recipienten Göta Älv så att föroreningsbelastningen minskar genom att kvalitetsstyra det kombinerade avloppsvattnet.

1.5 Avgränsningar

Examensarbetet inriktar sig på ett specifikt bräddavlopp, Krokängsparkens bräddavlopp strax norr om Sannegårdshamnen på Hisingen, Göteborg. Vilka effekter som kvalitetsstyrning skulle innebära, med avseende på minskad föroreningsbelastning till recipienten Göta Älv, genom samverkan i flera bräddpunkter beaktas därmed inte. Denna vidareutveckling av examensarbetet tas dock upp översiktligt i kapitel 19, Diskussion.

Föreslagna åtgärder är begränsade till bräddavloppet i sig och berör inte systemet i övrigt.

Kvalitetsstyrning ökar föroreningsmängderna i slammet på reningsverket. Rapporten berör ytligt frågan om kvalitetsstyrning kontra slamanvändning men tar ingen ståndpunkt. Inställningen är att reningsverket först och främst finns till för att ta hand om avloppsvattnet.

Inga ekonomiska aspekter har beaktats mer än översiktligt.

1.6 Metod

För att uppfylla målet med examensarbetet har följande metod använts:

- Inledande litteraturstudier inriktad på kombinerade avloppssystem och problematiken kring dem.
- Uppbyggnad av MOUSE-modell över Krokängsparkens avrinningsområde för kartläggning av brädden samt kvalitetsstyrning
- Fältmätningar i Krokängsparkens bräddavlopp för kalibrering och verifiering av MOUSE-modellen.
- Framtagning av åtgärdsförslag för kvalitetsstyrningen

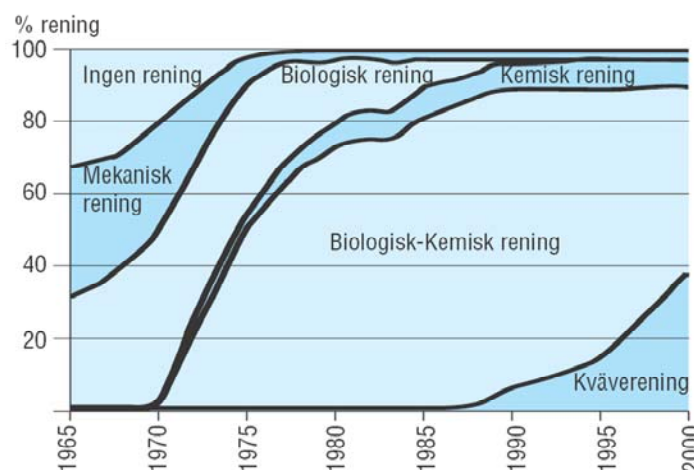
2 Historik

Avloppsteknikens historia har sitt ursprung i problemen som skapades när samhällena blev större och befolkningstätare. Detta resulterade i en ökad belastning på vattendragen och dess vattenkvalitet försämrades betänkligt på grund av den ökade avfallsmängden. Till detta tillkom de djur som forntidsmänniskan höll sig med, som hästar, oxar, svin med mera som var för sig skapade mängder med avfall [13].

Försämringen av vattenkvaliteten ledde till att man var tvungen att försörja sig med vatten från annat håll vilket skapade vattenförsörjningstekniken. I olika delar av världen har det i forntiden gjorts primitiva försök att komma till rätta med problemet genom enkla lösningar såsom att föra ut avloppsvattnet till närmaste recipient och på så sätt förskjuta problemet från sig själv nedströms. Flera sådana system har hittats i Indusdalen där redan för 5000 år sedan ett primitivt, men fullt fungerande, avloppssystem fanns i flera städer. Där byggdes flera städer med avloppssystem i tegel som fungerade mycket likt dagens system med täckta avloppsledningar och rensbrunnar för att förhindra igensättning [14].

Vattenkvaliteten har alltid en stor inverkan på folkhälsan och idag vet vi att bakterier sprider sig väl i förorenat vatten. Detta har under århundradena lett till omfattande koleraepidemier (senast i Sverige 1860-1870) och avfolkat stora delar av tätbefolkade områden. Vid ungefär samma tid samma tid, det vill säga i slutet av 1800-talet, kom Pasteur och Koch med bevis om koleraspridningens sammanhang med vatten vilket ledde till en reform i omhändertagande av avloppsvatten [15].

I början av 1930-talet byggdes de första reningsverken i modern mening men det var inte förrän i början på 1970-talet, då staten bidrog med finansiering, som utbyggnadstakten satte fart på allvar, se figur 1. Idag har Sverige ett av de mest utbyggda avloppsnäten i världen där i stort sett alla i befolkningen är anslutna till ett avloppsreningsverk. Med flera olika reningsprocesser är det behandlade vattnets kvalitet så pass tjänligt, när det släpps ut i en recipient, att det uppfyller EU:s ramdirektiv för vatten [6].



Figur 1: Reningsprocesser i kommunala reningsverk i Sverige från 1965-2000.

3 Beskrivning av kombinerade system

I Göteborg är cirka 31 % av stadens 2503 km ledningar, inklusive dagvattenledningar, kombinerade. Motsvarande siffra för Sverige är 35 % [5].

De kommunala avloppsnäten byggdes ursprungligen för att avleda det orenade spillvattnet och dagvattnet direkt till närmaste recipient. När man sedan började rena avloppsvatten i början på 1950-talet byggdes avskärande ledningar för att samla upp avloppsvattnet och föra det vidare mot reningsverket för behandling. I de skärningspunkter som uppstod anlades bräddavlopp där det vatten som, i händelse av intensiva eller långvariga regn, inte kan magasineras tillåts bräddas ut orenat till en recipient [2].

Bräddavlopp består oftast av en eller flera inkommande ledningar och två utgående varav en går till reningsverk och en bräddar till recipienten. Ett skibord bestämmer andelen vatten som bräddas. Vid torrvädersflöde rinner vattnet opåverkat genom brädden till reningsverket. Med ökande flöde ökar vattennivån i ledningen och rinner till slut över skibordet vid ett bestämt flöde. Bräddavlopp är idag det mest använda åtgärden för flödesreglering i kombinerade system [2].

I Göteborgs ledningsnät, där både duplikata och kombinerade system finns nedlagda, så förekommer lösningar där duplikatsystemen mynnar ut i en kombinerad ledning [16]. Detta förfarande i ledningssystemen eliminerar funktionen för ett duplikatsystem då allt mynnar ut i en kombinerad ledning. Dock kan det tänkas att syftet med ett duplikatsystem på nybyggda platser är att i framtiden byta ut de kombinerade ledningarna till ett duplikat ledningssystem.

På grund av avloppsteknikens komplexitet finns det både för- och nackdelar med att använda sig av ett kombinerat avloppssystem, både ur ekonomisk synvinkel, teknisk genomförbarhet och de krav som ställs på avloppssystemet i det aktuella fallet.

3.1 Fördelar med kombinerade system

Det finns ett flertal fördelar med ett kombinerat avloppssystem. Till exempel kan det nämnas att rördimensionerna hos kombinerade system är väl tilltagna för att undvika översvämningar förutom i extrema fall [14]. Också vid de tillfällen när det kombinerade avloppet inte kan ta hand om allt vatten utan att översvämma ledningar och källare, så är vissa bräddavlopp utformade så att tyngre och lättare partiklar stannar kvar och inte kommer ut till recipienten [17].

Tack vare Sveriges relativt regelbundna regntillfällen ges det inte någon chans för väsentlig sedimentering, med risk för igensättning att uppstå som i separata system där spillvattenledningar tidvis slammar igen [18].

Ett kombinerat avloppssystem är ur drift- och skötselsynpunkt billigare att både lägga och underhålla på grund av dess utformning att ta hand dag-, drän- och spillvatten i en och samma ledning. Kostnaden för att lägga ett kombinerat avloppsrör jämfört med duplikatsystem är cirka 25 % billigare [2]. I de fall som kombinerade system redan existerar är dessa också i många fall billigare att förbättra än att byta ut hela systemet mot duplikatsystem.

När nederbörd faller för det med sig en mängd föroreningar ner i avloppet, bland annat tungmetaller. Dessa kommer bland annat från koppartak, industriutsläpp till luften, fordon

med mera. Dessa metaller påverkar miljön negativt och kan orsaka stora skador i naturen. Genom att en stor del av regnvattnet förs med till reningsverken så renas också det vattnet på tungmetaller som då hamnar i slammet och inte direkt ut i naturen [6].

Ett kombinerat avloppssystem släpper vid bräddning ut olika föroreningar som till exempel syreförbrukande ämnen (BOD), fosfor och kväve. Göteborg har kravet att utsläppen från bräddavloppen ut i Göta Älv nedströms råvattenintaget, Säveån och Mölndalsån inte skall överstiga de utsläpp som skulle ha släppts ut av ett eventuellt duplikatsystem i området [5].

I dagens läge skulle ombyggnader av de områdena med kombinerade avloppssystem inte vara en kostnadseffektiv åtgärd för att minska föroreningsutsläppen. Dyrbara omläggningar har tidigare genomförts till duplikatsystem. Resultatet blev att BOD-utsläppen ökade i de områden som omläggningarna gjordes. Försättningsvis kommer systemförändringar inte att göras i någon omfattande grad i Göteborg. Tonvikten kommer istället på att renodla och effektivisera de kombinerade avloppssystem som finns idag. Denna satsning uppfyller då också kravet om ekonomisk effektivitet [5].

3.2 Nackdelar med kombinerade system

Det finns flera negativa aspekter med kombinerade avloppssystem som motiverar till att byta ut dessa äldre kombinerade avloppssystem till nyare duplikatsystem och några av dessa redovisas nedan i följande stycken.

Reningsverkets processer fungerar som bäst vid ett konstant flöde av avloppsvatten och vid kraftiga regn störs detta flöde och minskar processernas effektivitet och höjer kemikalieåtgången för reningsprocessen [18].

Vid kraftiga regn tillås det kombinerade systemet att överbelastas i enlighet med dimensioneringsnormerna för kombinerat system i stadsbebyggelse som säger att ledningar ska dimensioneras för regn med 10 års återkomsttid. Ledningarna klarar då inte av den hela vattenmängden och flödet som överstiger kapaciteten bräddas för att förhindra överbelastningar.

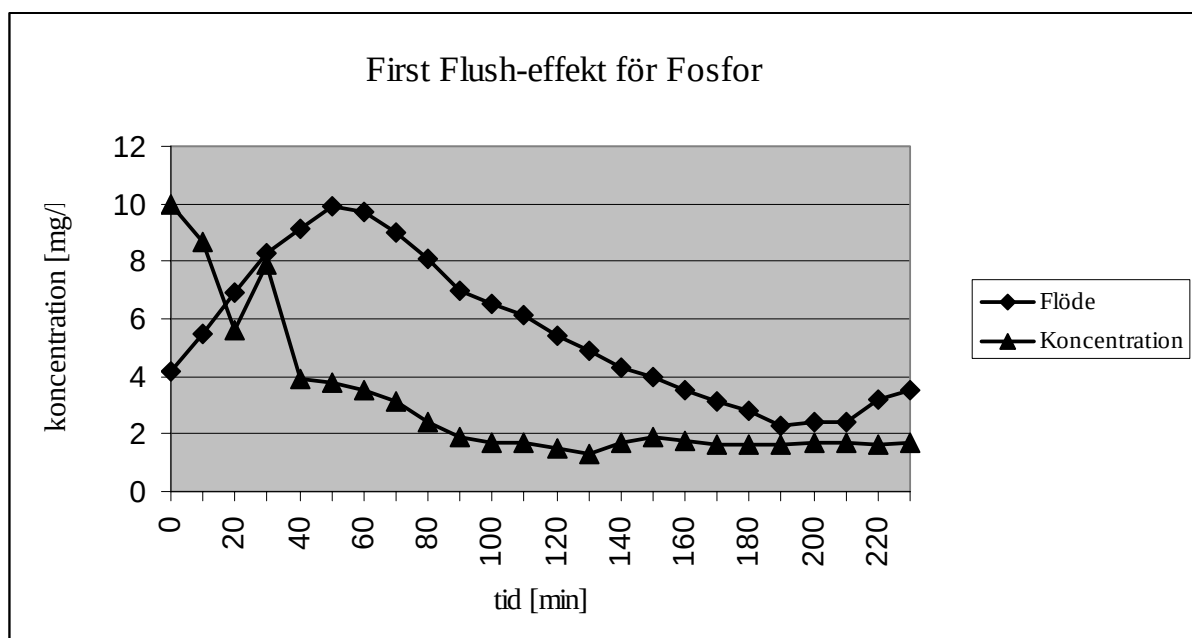
Ett kombinerat avloppssystem är grovt överdimensionerat med avseende på torrvädersflödet och de flesta av nederbördstillfällena. Nackdelen med detta är att flödet i ledningarna många gånger är för litet för att renshastigheten ska vara tillräcklig och orsakar avsättningar [18].

4 First Flush

Vid ett nederbördstillfälle kommer föroreningskoncentrationerna i avloppsvattnet att variera över tiden. Den högsta föroreningskoncentrationen uppträder i regel i samband med bräddstart eller senast när bräddflödet når sitt maxvärde för att sedan klinga av [19].

First Flush kallas det flöde som kan uppträda i början av en regnserie där föroreningar och bakterier har en högre koncentration gentemot efterföljande vatten, se figur 2. Detta på grund nedan följande punkter [17; 20; 21]:

- Tvättning av urbana ytor och försänkningar i markytan. Ett så kallat First Flush kan förväntas som ett resultat av det tidiga regnet som "tvättar" ytorna i avrinningsområdet som under en tid samlat på sig partiklar från utsläpp med mera.
- Spillvattenflödet. Eftersom regnvattenflödet rör sig snabbare än spillvattenflödet får fronten av flödesökningen en allt högre koncentration av förorenat vatten ju längre rörsträckningen är fram till bräddavloppet.
- I många avloppssystem har det observerats ett lager med tyngre organiskt material som rör sig precis över rorbotten med låg hastighet. Detta lager med tyngre material dras med i fronten och blandas med det ökade regnvattenflödet.
- Sediment i ledningssystemet. Föroreningar i avloppsvattnet sedimenterar i ledningarna och rivs sedan upp vid regn.

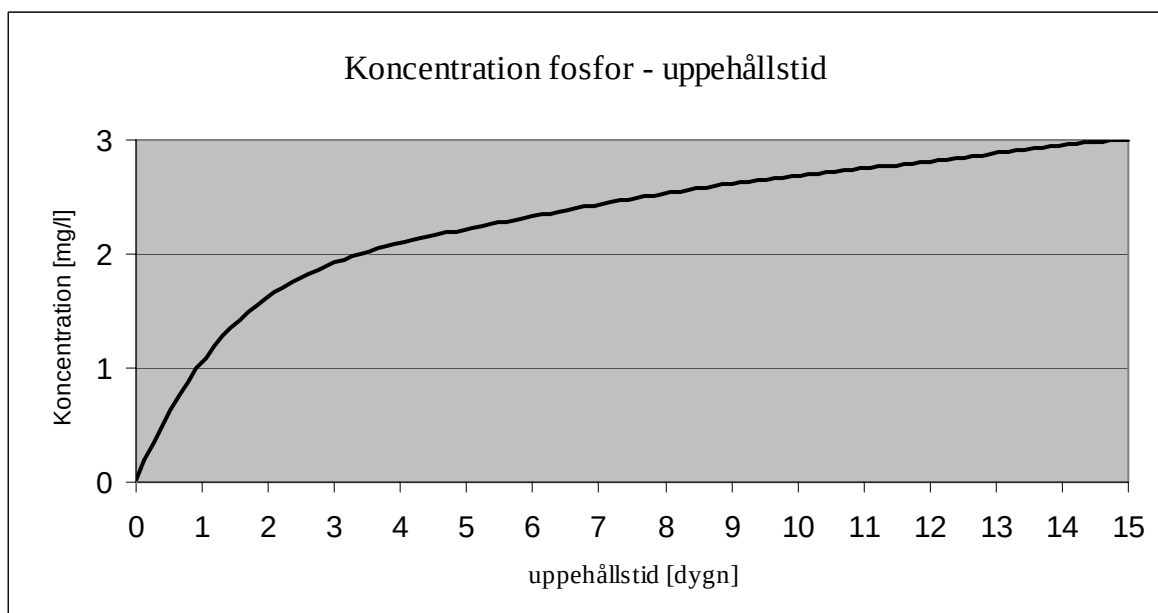


Figur 2: Variationen i fosforkoncentrationen under ett bräddtillfälle 940629 i ett bräddavlopp i Bellevue, Göteborg. Bräddtillfället har föregåtts av sju torrdrygn.

Hur uttalad First Flush-effekten blir vid nederbörd styrs av flera faktorer. Den mest påverkande parametern är uppehållstiden, det vill säga hur lång tid som passerat sedan föregående regn, se figur 3. Ju längre tiden är mellan nederbördstillfällena desto större är risken att material sedimenterar i leningarna och mer föroreningar ackumuleras på ytorna. Geografiska förhållanden spelar också en viktig roll liksom vilken typ av verksamheter som finns inom avrinningsområdet. Ledningarna i ett flackare område ger bättre förutsättningar för föroreningar att sedimentera eftersom vattenhastigheten blir lägre [20; 22].

Föroreningskoncentrationen är alltså störst vid bräddstart och avtar sedan med ökande bräddvolym. Hur snabbt ökningen och avklingningen sker är olika beroende på föroreningstyp. De snabbast avtagande föroreningarna är de som utgörs av lättupplösliga avlagringar och som dessutom är koncentrerade till ledningarna, till exempel fosfor, medan de föroreningar som beror mer av medverkan från markytorna, där påverkan av vind, trafik och gatsopning är stor, har ett långsammare förlopp. Bly är exempel på detta [19].

Vissa föroreningar är starkt bundna till dygnsvariationerna i vattenförbrukningen, fosfor är en sådan. Om bräddning sker under dagtid är koncentrationerna av fosfor i bräddvattnet väsentligt större jämfört med natttid. Förklaringen ligger i spillvattnets högre flöde dagtid. Ju kraftigare ett regn är desto större blir "städteffekten" av ytor och ledningar, men även mindre kraftiga regn som inte ger upphov till bräddning ger också en viss effekt [19].



Figur 3: Figuren visar hur fosforhalterna kan öka med uppehållstiden. Diagrammet kommer från mätningar gjorda av va-verket i ett bräddavlopp i Bellevue, Göteborg.

5 Problem med utsläpp av avloppsvatten till recipienten

Övergödning utgör i dag ett allvarligt miljöproblem och detta uppmärksammas i ett de femton miljömålen som riksdagen satt upp. Övergödning innebär en tillförsel av växtnäringssämnen utöver den mängd som naturen kan tillgodogöra sig. Flera ämnen innefattas av begreppet växtnäringssämnen men de viktigaste är fosfor och kväve [12].

5.1 Fosfor

I ett av delmålen till ”Ingen övergödning” säger riksdagen följande:

Fram till 2010 skall de svenska vattenburna utsläppen av fosforföreningar från mänsklig verksamhet till sjöar, vattendrag och kustvatten ha minskat kontinuerligt från 1995 års nivå.

Fosfor är en begränsad naturresurs, nödvändig för allt liv. Den största källan till fosfor i avloppsvatten är hushållen där framförallt tvättmedel innehåller fosfor. I jordbruket används fosfor i konstgödsel. Vid reningsverken klarar man av att avskilja cirka 95 % av fosfor i avloppsvattnet varför det är önskvärt att maximera fosfortransporten dit.

Fosfor kan återföras till kretsloppet på annat sätt än via slamspridning på åkermark. Metoder för utvinning av koncentrerade fosforprodukter ur avloppsvatten och avloppsslam är under utveckling [6].

Fosfor som släpps ut i vattendrag avsätts i sedimenten och kan sedan återföras till vattnet under lång tid. Detta gör att fosforspridningen kan fortsätta långt efter att den externa belastningen minskat [12].

5.2 Kväve

Liksom fosfor är kväve en livsviktig del för de vattenlevande djuren och växterna men vid en överrepresentation av ämnet störs den balans som finns i havet och orsakar övergödning. De största kväveutsläppen kommer från luftnedfall orsakade av fordon och från urlakning av åkermarker. Cirka 10 % av Sveriges yta och en del av Norges är knuten till Göta Älv. På grund av detta transporteras det mycket kväve i älven. Detta gör att mängderna varje år är väsentliga för åtgärkning [23]. Statens delmål för kväve lyder enligt delmålet för fosfor ovan.

5.3 Tungmetaller

De tungmetaller som avses i avloppssammanhang är:

- Bly (Pb)
- Kadmium (Cd)
- Koppar (Cu)
- Krom (Cr)
- Kvicksilver (Hg)
- Nickel (Ni)
- Zink (Zn)

Trots tungmetallernas toxicitet är dessa livsnödvändiga för människa och natur. Problemen uppstår när koncentrationen blir för hög i en kropp eller i ett ekosystem. När väl ämnena kommit till en plats tar det lång tid för ämnet att försvinna igen, till exempel påverkar 1970-talets stora utsläpp av bly i hög grad fortfarande marker som inte kan transportera bort ämnet i någon väsentlig grad [6].

5.4 Organiskt material

När man pratar om organsikt material i avloppssammanhang talas det om matrester, toalettpapper, fekalier med mera. Alla dessa är biologiskt nedbrytbara och denna process kräver syre. När ett kombinerat avloppssystem bräddar är det oundvikligt att en del av torrvädersflödet (spillvattnet) följer med ut i recipienten. Där bryts det organiska materialet ner och förbrukar syret i vattnet. Detta leder till att syret minskar och bakteriehalten ökar, vilket i sin tur leder till en sämre vattenkvalitet. I värsta fall kan syrebrist med bottendöd som följd uppstå [6].

6 Bräddpunkter och påverkan på recipienten

Det kan tyckas att bräddning är en relativt bra åtgärd för att slippa överbelastningar. Dock ger detta ger bara en förskjutning av problemet genom att miljön tar skada av att föroreningarna släpps ut till en recipient. Föroreningar som bräddas påverkar bland annat:

- Syrereduktionen
- Toxisk påverkan (främst tungmetaller)
- Bakteriell förorening
- Eutrofiering (näringssämnestillförsel som orsakar igenväxning)
- Estetisk påverkan (utseende, lukt)
- Nedsmutsning

Man kan vidare dela in effekterna kort- och långsiktigt, som en effekt av den totala mängden utsläpp orsakat av avloppsbräddning. Kortsiktiga effekter kan påverka recipienten i upp till ett dygn och kan vara bakteriell förorening eller syrekonzentration i vattnet. De mer långvariga effekterna, som exempelvis eutrofieringen som orsakar övergödning, kan verka negativt i flera år [2].

Det är emellertid inte bara bräddningen som är av betydelse för recipienten utan även utsläppen från reningsverken, dagvatten och atmosfäriskt nedfall [14].

Hur mycket en recipient kan ta emot bestäms av ett flertal faktorer, bland annat [2]:

- Recipientens avsedda användning (bad, fiske med mera)
- Recipientens biologiska karakteristika
- Studerad föroreningsvariabel
- Vattenomsättningsförhållandena i recipienten

6.1 Beskrivning av recipient

Krokängsparkens bräddavlopp har sitt utlopp i Göta Älv, strax öster om Sannegårdshamnen. Där släpps bräddvattnet ut ungefär två meter under vattenytan. Göta Älv är Sveriges största vattendrag med ett normalt årsmedelflöde på $550 \text{ m}^3/\text{s}$. I Kungälv delar sig älven i två grenar. Genom flödesreglering vid Nordre älv hålls flödet i Göteborgsgrenen till $150 \text{ m}^3/\text{s}$. Älvens flöde och storlek gör den till en relativt tålig recipient med hög utspädning och snabb vidaretransport av tillförda föroreningar [23].

Inom Göteborg förekommer utsläpp av behandlat avloppsvatten till Göta Älv, kylvatten från industrier, dagvatten samt obehandlat avloppsvatten från bräddningar vid kraftiga regn och vid driftstörningar i avloppspumpstationer. Utspädningen ska enligt vattendomen vara minst trefaldig. Idag är den i de flesta fall betydligt högre.

Föroreningsutsläppen till Göta Älv hade sin topp omkring 1970. Innan dess ökade utsläppsmängden successivt från 1900-talets början. Efter 1970 har utsläppen minskat stadigt tack vare rening i större utsträckning, förbättrade reningsmetoder samt högre ställda reningskrav [3]. Tack vare att styrning av avloppsvatten har införts vid de stora pumpstationerna Kodammarna och Herkulesgatan i Göteborg, har utsläppen genom bräddning till Göta Älv reducerats kraftigt [5].

Den nuvarande situationen i Göta Älv presenterades i en rapport från Göta Älvs Vattenvårdsförbund 2004 [24]. Enligt rapporten är metallhalterna i älven förhållandevis låga, men att det på grund av de stora vattenmängderna gör att transporten av metaller till mynningen ändå blir relativt stora i längden. Undersökningar visar att det finns en negativ påverkan på bottenfaunan i älven, till följd av utsläpp av näringsämnen och organiskt material. Resultaten påvisar även att bland annat bräddningar försämrar den mikrobiologiska kvaliteten. Sjukdomsframkallande bakterier har påträffats och flera bakteriekoncentrationer ligger över riktvärdena [25].

På Norra Älvstranden finns det möjlighet för folk att sola längs kajerna och detta inbjuder i sin tur till bad. I och med ombyggnaden som väntar Södra Älvstranden och den fortsatta utbyggnaden kring Sannegårdshamnen är det inte heller omöjligt att sådana möjligheter kommer att ges även i dessa områden. Då en badbar Älv länge har varit ett mål för Göteborgs politiker är en sådan utveckling av badmöjligheter önskvärd. I vattenplanen påpekas att vattendrag med särskilt stort intresse för bland annat bad bör skyddas. I dagens läge är dock vattnet så pass förorenat efter ett kraftigt regn med bräddning som följd, att en badande riskerar att insjukna i bakteriella sjukdomar till följd av vattnets undermåliga kvalitet om personen råkar få i sig älvvattnet [26].

7 Kvalitetsstyrning

Att kvalitetsstyra avloppsvatten innebär att kontrollera vattenflödet så att flöden med hög föroreningskoncentration förs till reningsverken medan vatten med lägre koncentrationer tillåts att bräddas till en recipient. Detta kan ske via pumpar, skibord eller luckor som utnyttjas för att åstadkomma magasinering av avloppsvattnet vid kritiska tillfällen i ledningar, tunnlar eller andra lämpliga utrymmen. Den magasinerade volymen förs därefter vidare till reningsverket vid ett lämpligt tillfälle då belastningen är lägre. Genom att aktivt styra vattenflödet i en eller flera nyckelpunkter påverkas avloppssystemet positivt och förutsättningarna för god funktion även vid icke dimensionerande tillfällen ökar [20].

7.1 Positiva effekter

Styrning i en eller flera punkter ger möjlighet att reducera flödet nedströms i systemet. Den mest uppenbara effekten är färre och kortvarigare överbelastningar i form av bräddningar och även färre översvämningar av källare och gator. En styrning kan också minska ett systems driftkostnader. Den allra viktigaste möjligheten är dock att påverka föroreningstransporten. De låga minimikraven som finns för utspädning (i Göta Älv tre gånger torrattenflödet) av bräddvatten gör att förhållandevis stora volymer bräddas när stort magasineringsutrymme finns tillgängligt. Styrning kan därför reducera både bräddfrekvensen samt bräddvolymerna vid respektive bräddtillfälle avsevärt.

Styrning ger också en potentiell möjlighet till att styra sedimentationsprocessen. Exempelvis kan man tänka sig att man vid torrväder samlar upp vatten i magasin längs ledningsnätet och sedan släpper ut det med hög hastighet. Eventuella sediment som bildats under torrvädersperioden slits då loss och följer med vattnet. Den positiva effekten består av att de sedimentära föroreningarna som skulle ha bräddat vid nästa regntillfälle hamnar i slammet istället för att de följer med ut till recipienten [20].

7.2 Negativa effekter

Med en fullt fungerande kvalitetsstyrning är problemen små och riskerna få. De eventuella problemen föreligger, som i alla elektroniska system, i möjligheten att utrustning och komponenter går sönder eller att mätutrustning eller sensorer visar fel värden vilket kan resultera i styråtgärder som rent av kan förvärra situationen. En annan risk föreligger i möjligheten att styrningen kan orsaka sekundära effekter i systemet, exempelvis kan nivåerna uppströms bli för höga och orsaka översvämningar, eller så kan styrningen minska renshastigheten i ledningarna så att avsättning av material sker och risk för igensättning uppstår [20].

7.3 Styrsystem

Det mest använda sättet att kvalitetsstyra avloppsvatten är att använda sig av Real Time Control, RTC, realtidsstyrning på svenska. Realtidsstyrning definieras som att styra flöden genom att kontinuerligt mäta flödes- och magasineringsförhållanden [20].

Möjligheten att kvalitetsstyra vatten är mest fördelaktigt i dagvattenförande system, det vill säga dagvattensystem samt kombinerande system eftersom dessa är konstruerade för extrema flöden, vilket innebär att det för måttliga avrinningar finns magasinutrymme i ledningssystemet.

Det finns två typer av realtidsstyrning – prediktiv och reaktiv. Reaktiv styrning innebär att systemet styrs direkt på information om aktuella flöden och magasinens volym. Om informationen på något sätt bearbetas med modellverktyg eller liknande så att styrbesluten kan baseras på en prognostiserad händelseutveckling är den prediktiv. En reaktiv styrning kan också vara delvis prediktiv, men då på en annan nivå hos operatören eller i beslutsmatrisen.

Kvalitetsstyrningen måste baseras på information som är inhämtad på något sätt. Detta görs med hjälp av olika systemverktyg som kan karakteriseras i fyra grupper.

- Sensorer (regnmätare, nivågivare)
- Ställdon (pumpar, fjärrstyrda luckor)
- Kommunikationsenheter (sändare/mottagarenheter)
- Styrenheter (operatörer centraldatorer)

Beroende på vilket resultat man vill uppnå med styrningen samt driftsäkerheten hos systemverktygen kan dessa användas separat, tillsammans och vid en eller flera punkter. För att optimera effekten av styrningen, det vill säga föra flöden med hög föroreningskoncentration till reningsverket och samtidigt minimera bräddvolymen genom magasinering, används med fördel flera sensorer som lämnar information till en centraldator om förhållandena uppströms. Möjligheten till optimering ökar med storleken på övervakat område och styrmöjligheten förbättras radikalt med antal ställdon uppströms.

Styrningen kan vara lokal, regional och global beroende på hur mycket information om avrinningsprocessen som används för styrbesluten. Styrsystemen är manuella, övervakade eller automatiska beroende på inblandning av operatören [20].

7.4 Styrande parametrar

När en typ av styrning med tillhörande styrfunktion tas fram för ett bräddavlopp måste denna vara baserad på en eller flera parametrar. Nedan beskrivs några parametrar som kan ligga till grund för en styrning [21; 22].

Med uppehållstid menas här den tid som gått sedan föregående regn. Ju längre denna tid är desto mer föroreningar kan ackumuleras på gator och tak samt sedimentera i ledningssystemet. När nästa regn inträffar sköljs dessa föroreningar med och eventuellt bräddas de till en recipient.

Det är självklart att flödet i ledningssystemet är en väsentlig parameter för styrningen. Flödet kan registreras tidigt uppströms i systemet för att man ska bli medveten och då hinna aktivera styrningen. På samma sätt används registrering av vattennivån i ledningssystemet för styrning. Styrning genom nivåmätningar tillsammans med uppehållstid är den mest använda metoden världen över.

Att basera en styrning på föroreningskoncentration är mer komplicerat än exempelvis flöde och uppehållstid på grund av att det kräver kontinuerliga kvalitetsmätningar på vattnet vilket både är kostsamt och svårt. Därför är denna typ inte heller så vanlig. Denna parameter är en bra metod för att styra efter First Flush.

7.5 Tidigare kvalitetsstyrning i Europa och Sverige

Kvalitetsstyrning har nyttjats länge, i exempelvis Tyskland, men i Göteborg är det ett relativt nytt begrepp med avseende på praktisk tillämpning. Ledande länder i forskningen om kvalitetsstyrning är Frankrike och Tyskland. Nedan följer ett urval av exempel på tillämpad kvalitetsstyrning i Europa [5].

7.5.1 Europa

Barcelona i Spanien är en populär badort och vattenkvaliteten är avgörande för om stränderna ska förbli attraktiva. Därför pågår där ett pilotprojekt med en speciell typ av fördröjningstankar vars huvuduppgift är att vid bräddning, samla och förvara vatten vid nederbörd tills det kan föras till reningsverket. Tanken är indelad i tre utrymmen separerade genom skibord. Vattnet tar sig in via två luckor och tre pumpar finns tillgängliga för tömning. Vid torrvädersflöde passerar vattnet förbi tankarna. Då flödet ökar stängs vägen till reningsverket och tankarna fylls upp. Styrningen av vattnet sker genom nivågivare i ledningssystemet och i alla tre utrymmena, samt med hjälp av kvalitetsmätare i tankarna. Hur länge vattnet förvaras i tankarna bestäms av regnvaraktigheten, intensiteten samt risken för svavelvätebildning i tankarna. För att kontrollera detta tas prover kontinuerligt på vattnet [27].

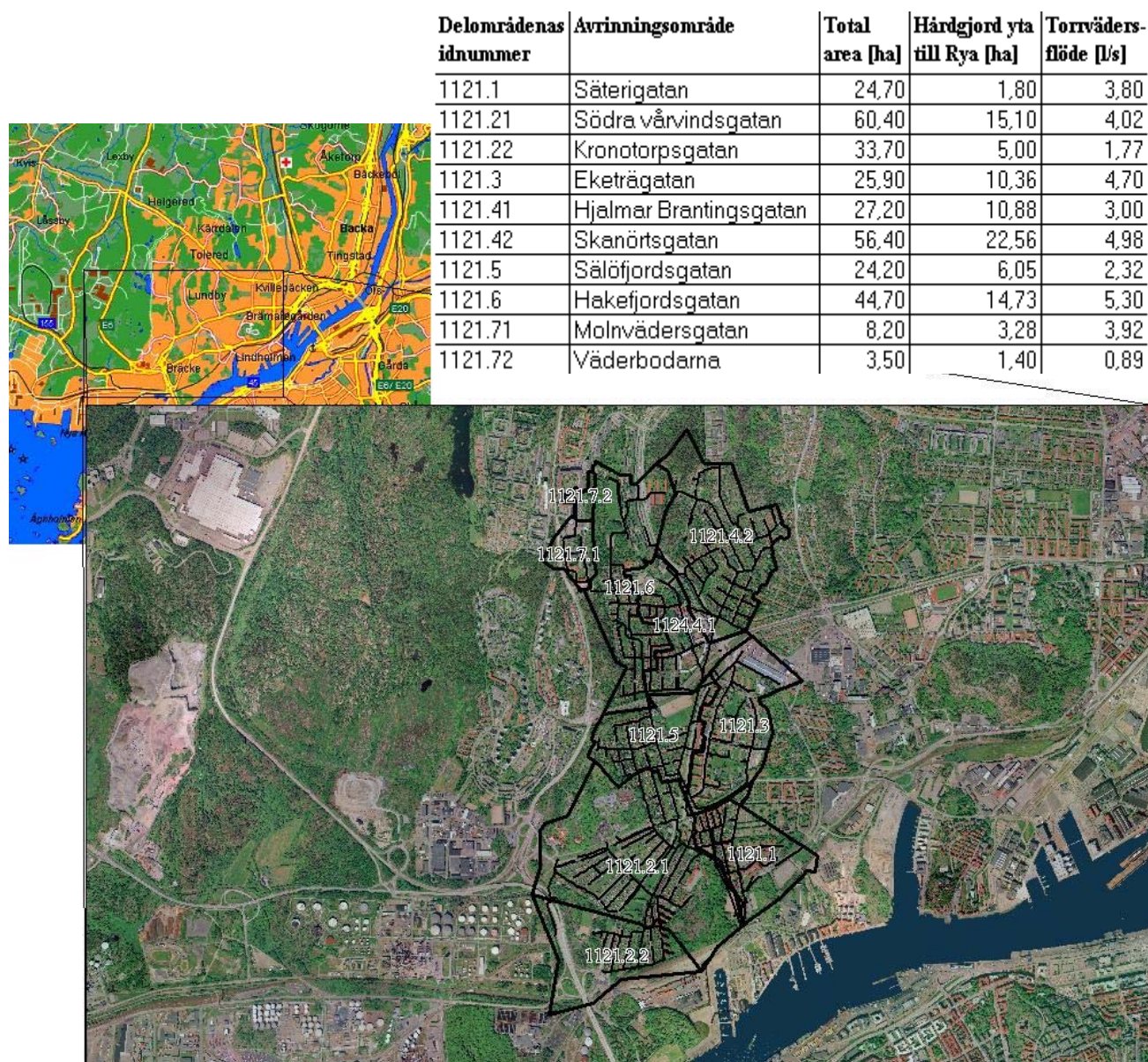
7.5.2 Sverige

Ormen, ett bräddavloppsmagasin under Stockholms innerstad med en volym av cirka 35 000 m³ togs i drift 1993. Magasinet är en bergborrad tunnel och sträcker sig från Roslagstull till Karlavägen. Till magasinet leds avloppsvatten via borrhål på 8 platser. Regleringen till tunneln sker genom fem styrda skibord, vilka styrs av en central dator med hjälp av nivågivare i bräddkammarna. Resterande tre skibord är fasta, men försedda med avstängningsluckor. Vid behov finns möjlighet att från ett kontrollrum manuellt styra samtliga skibord. Då belastningen på ledningsnätet minskat igen återförs vattnet med hjälp av pumpar. Med Ormen fullt fungerande minskar utsläppen till recipienten med en tredjedel. Styrningen av skiborden har dock inte fungerat felfritt vilket resulterat i större bräddvolym än beräknat [28].

I Göteborg har kvalitetsstyrning i kombinerade avloppssystem funnits sedan början av 90-talet. Idag finns tre bräddpunkter med tillämpad kvalitetsstyrning, Kodammarnas pumpstation, Herkulesgatans pumpstation och Sannegårdens bräddavlopp. Vid Kodammarna och Herkulesgatan sker styrning genom pumpning och vid Sannegården genom en reglerbar lucka. Alla tre är baserade på uppehållstid och inkommande flöde [1].

8 Avrinningsområde för BB4526 - Krokängsparken

Det aktuella avrinningsområdet är beläget på ön Hisingen i Göteborg strax norr om Göta Älv. Området omfattar hela Lundby och norra delen av Bräcke, se figur 4. Området är indelat i tio mindre delområden som finns redovisade i tabellen nedan i figur 4 [16].



Figur 4: Avrinningsområde för Krokängsparkens bräddavlopp med delområden.

Avloppssystemet är ett avgränsat kombinerat system med cirka 10 % överksamt duplikatsystem, två stycken bräddavlopp samt ett regnvattenmagasin. Den kombinerade delen av ledningssystemet är till största delen byggt på 50 och 60-talet medan den duplikata delen tillkom först på 70-talet. Avrinningsområdet är 284 hektar stort med en hårdgjord yta på 92,7 hektar. Den totala ledningslängden är cirka 43 kilometer. Antalet anslutna personer i området motsvarar 9271 personekvivalenter. Det totala torrvädersflödet har beräknats till 30 liter per sekund och vid bräddstart är flödet sju gånger torrvädersflödet. Avrinningsområdet ansluter till tunnelsystemet via ett borrhål, beläget strax efter Krokängsparken bräddavlopp.

Inom avrinningsområdet återfinns främst bostadsområden med tillhörande centrum, men även koloniområden och några industrier. Två större trafikleder, Lundbyleden och Hjalmar Brantingsgatan, går genom området. Ledningarna består i huvudsak av betong och i avloppssystemet ingår en bergstunnel. De flesta ledningar har en lutning i intervallet 0-10 ‰, det vill säga området är förhållandevis flackt.

9 Fältundersökningar

För att få en mer fullständig bild av det studerade bräddavloppet samt för att få fram ett underlag för datorberäkningarna har de varit nödvändigt att göra undersökningar i fält. De fältundersökningar som utförts i samband med examensarbetet är flödesmätningar och nivåmätningar i och runt Krokängsparkens bräddavlopp, nederbördsobservationer samt okulärbesiktningar av de båda bräddavloppen i området och utjämningsmagasinet på Molnvädersgatan.

9.1 Nederbördsobservationer

För det aktuella projektet har det varit nödvändigt att känna till nederbördens intensitet. Regnuppgifterna erhöles genom en nederbördsräknare som va-verket har uppställt vid Barlastplatsen vid Fiskhamnsmotet. Mätaren ligger fågelvägen ungefär 1200 meter från bräddavloppet i Krokängsparken och är således representativ för det aktuella avrinningsområdet.

Regnmätaren fungerar genom att det nedfallande regnet tas upp genom en tratt som för vattnet ner till en behållare. I behållaren finns det en graderingssticka som stiger vid inkommande regn. Denna sticka går upp genom ett hål i behållaren och en puls sänds varje gång det har fallit 0,2 mm regn. Denna puls registreras av en dator som sedan kan hämtas via telefon.

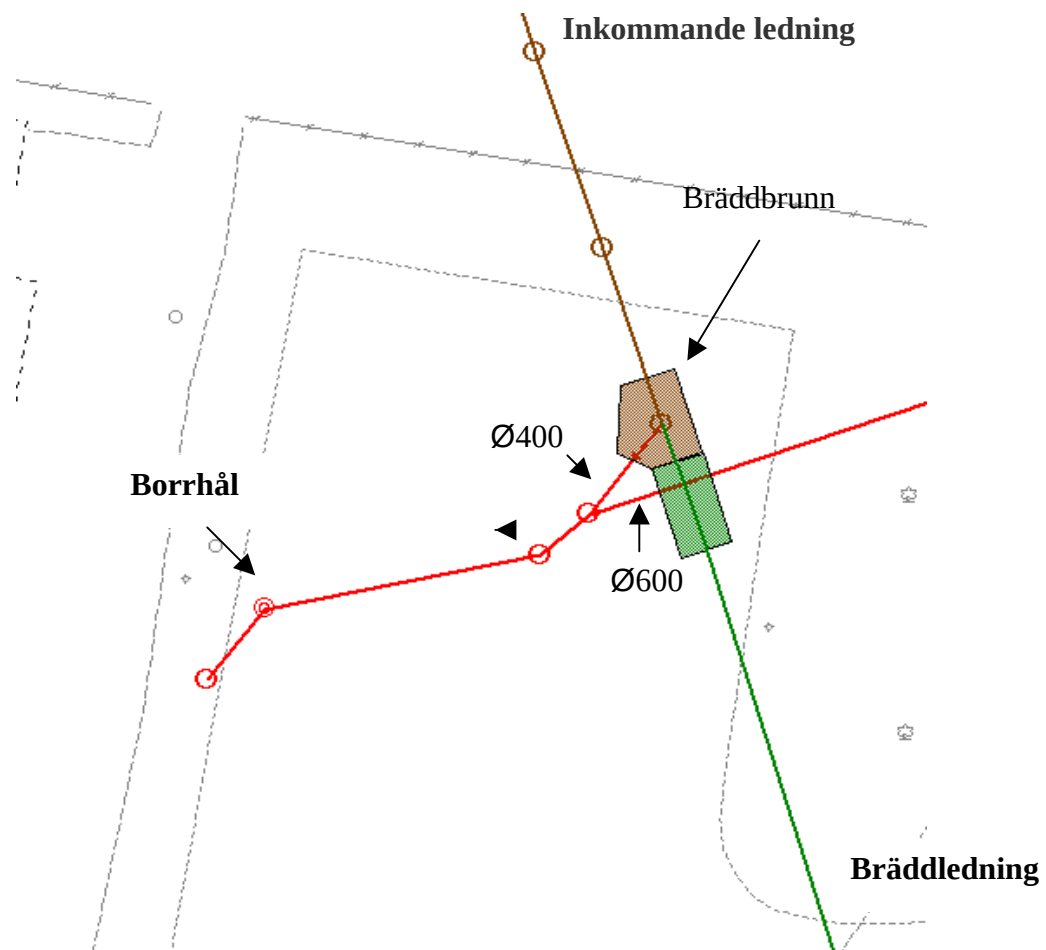
9.2 Flödes- och nivåmätningar

Flödes- och nivåmätningarna genomfördes i Krokängsparkens bräddavlopp under perioden 2005-10-01 till 2006-01-16. Fältmätningarna gjordes för att kunna kalibrera MOUSE-modellen mot verkligheten med tonvikt på bräddtillfällena. Enligt va-verkets önsksningar gjordes även mätningar för att kunna simulera flödet till borrhålet då detta misstänktes ha otillräcklig kapacitet.

För avbördning över skibord finns generella formler framtagna för typfall, men geometrisk utformning gör ofta att formlerna måste korrigeras för varje specifikt bräddavlopp för att vara representativa. För att simulera bräddtillfällena och volymer i MOUSE krävs ett samband mellan nivån över skibordet och inkommande flöde.

Med detta som bakgrund mättes nivåer och flöden i bräddledningen, avskärande ledning till borrhålet (Ø400) samt en andra ledning till borrhålet (Ø600). I bräddbrunnen mättes endast vattennivån med hjälp av en tryckmätare på grund av rådande förhållanden.

Till detta användes mätutrustning i form av ADS-mätare. I botten av ledningen fästes en flödesmätare, se figur 6. Flödet erhålls genom att hastigheten mäts genom att ultraljud skickas ut och reflekteras mot partiklar i vattnet. Trycket mäts genom att luft pressas ut och mottrycket motsvarar då en vattennivå. Med känd nivå och hastighet beräknas flödet automatiskt. För extra säkerhet sattes även en ultraljudsmätare i ledningshjässan som mätte vattennivån, se figur 7. Mätutrustningen kopplades till en logger som hängdes i respektive brunn från vilka mätdata kunde inhämtas med telefon. All mätutrustning kalibrerades vid installationen.



Figur 5: Planskiss över Krokängsparkens bräddavlopp med mätpunkter.



Figur 6: Flödesmätare i bräddledning



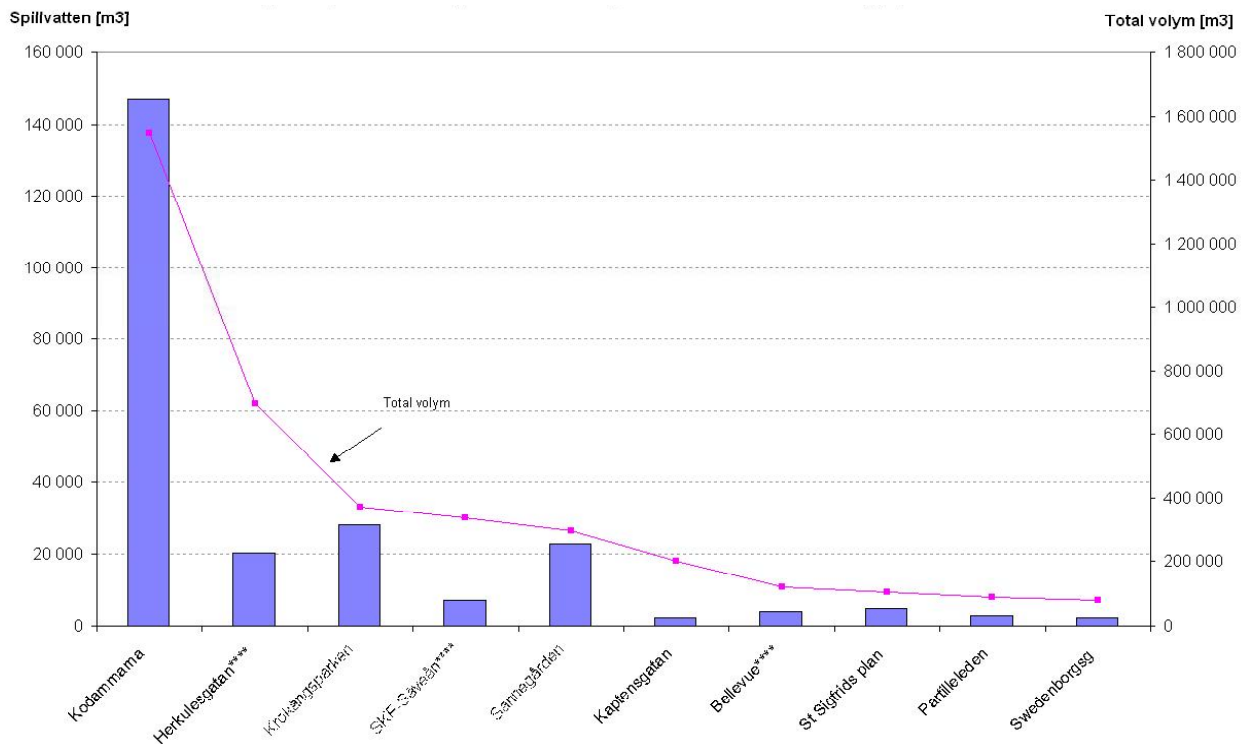
Figur 7: Ekolod för nivåmätning över skibord

10 Beskrivning av bräddavlopp

Inom avrinningsområdet finns två bräddavlopp. Examensarbetet är inriktat på kvalitetsstyrning i BB4526 - Krokängsparken bräddavlopp. För att få en verklighetstrogen datormodell måste även BB4525 - Danagatan bräddavlopp tas med varför båda är beskrivna. I detta kapitel följer en beskrivning av bräddavloppen, hur de är utformade samt deras hydrauliska egenskaper.

10.1 BB4526 – Krokängsparken

Krokängsparkens bräddavlopp är enligt va-verket den tredje största bräddpunkten i Göteborg, se figur 9. År 2004 bräddades cirka 370 000 m³/år totalt, varav 28 000 m³ var spillvatten. Torrvädersflödet är beräknat till 30 l/s och bräddstartflödet till 220 l/s, vilket betyder en utspädningsgrad på cirka sju gånger. Brädden avlastar ett 284 ha stort avrinningsområde område [16].



Figur 9: Bräddavloppens utsläpp i total- och spillvattenvolym enligt va-verkets årssimuleringar 2004.

10.1.1 Utformning

Bräddavloppet tar emot sitt vatten via en inkommande Ø1200, se figur 10. Ledningen fortsätter sluta nedåt mot skibordet samtidigt som den viker av till höger och ledningsdiametern minskas till Ø400 som för avloppsvattnet mot Ryaverket, se figur 9. I vinkeländringen av vattnets flödesriktning så sluttar väggarna uppåt relativt kraftigt upp mot skibordet. Därefter sluttar skibordet nedåt till den vidaregående Ø1200 till recipienten, i detta fall Göta Älv, se figur 10.

Skibordet i Krokängsparken är inte vinkelrätt utan ligger i cirka 60° vinkel mot den inkommande flödesriktningen. Skibordet består av en träspont som ligger i höjd med det efterföljande betongskibordet, vilket ger längden 1,90 m.

Ovanför den avskärande Ø400 mot borrhålet finns en statisk lucka som manuellt kan reglera flödet till Ryaverket, se figur 11. Vid starten för examensarbetet var denna lucka helt öppen och begränsade inte flödet mot reningsverket. Då överkant på inloppsledningen ligger på +13,65 m finns ingen risk för dämning. Efter luckan så strålar den avskärande Ø400 ihop med en Ø600 och fortsätter i en AS600 till borrhålet, se figur 5. På grund av den tillkommande ledningen finns det risk för dämning i ledningen och nedstigningsbrunnarna fram till borrhålet. Material från spillvatten har också påträffats på stegarna i nedstigningsbrunnarna fram till borrhålet, vilket indikerar att dämning har inträffat vid tidigare regn.



Figur 9: Planskiss över Krokängsparkens bräddavlopp.



Figur 10: Skibord och bräddledning.



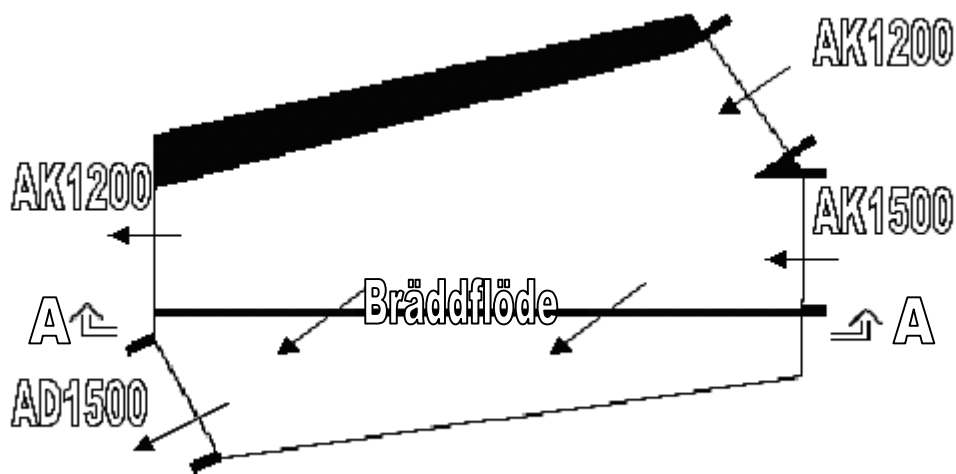
Figur 11: Reglerbar lucka ovanför utgående AS 400.

10.2 BB4525 – Danagatan

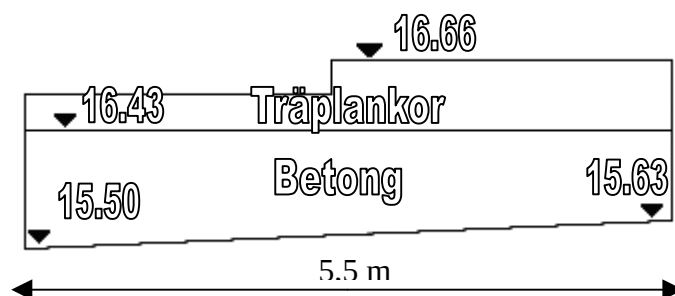
Danagatans bräddavlopp är beläget cirka 300 meter uppströms Krokängsparken och belastas av samma yta. Flöde vid bräddstart är beräknat till 2300 l/s och bräddad årsvolym 2003 var 38 000 m³ varav 600 m³ var spillvatten. Vatten inkommer via en Ø1200 och en Ø1500, se figur 13.

Bräddning sker över ett 5,5 meter brett högkantat sidoöverfall. Den första halvan av skibordets bredd har höjden 16,66 m medan andra halvan är något lägre med 16,43 m, se figur 14. Detta utförande beror på att man vid lägre flöden och därmed lägre nivå i bräddbrunnen vill brädda mindre, men att möjligheten till större bräddkapacitet vid höga flöden ska vara möjlig. Vid bräddning leds bräddvattnet via en parallell ledning förbi Krokängsparkens bräddavlopp som sedan ansluter till dennas bräddledning och den sammanslagna ledningen mynnar ut i Sannegårdshamnen i Göta Älv.

Inga fältmätningar genomfördes på detta bräddavlopp på grund av tidsbrist och Q/h-sambandet är därmed inte kalibrerat mot verkligheten. Sett till bräddad årsvolym och flöde vid bräddstart är brädden inte av jättestor vikt då den bräddar mer sällan och den totala årsvolymen är mindre än vid Krokängsparken.



Figur 13: Plansektion av Danagatans bräddavlopp

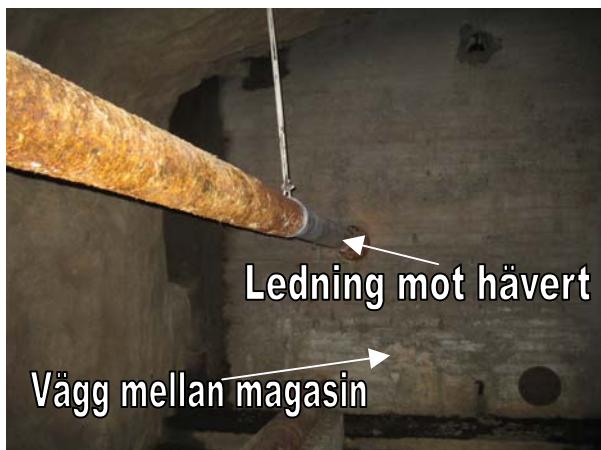


Figur 14: Tvärsnitt A-A, tvärsektion av Danagatans bräddavlopp

10.3 Beskrivning av utjämningsmagasin

Vid Molnvädersgatan, i den nordvästra delen i avrinningsområdet finns ett magasin vars uppgift är att reglera vattenflödet till ledningsnätet vid regn från två de mindre delområdena Väderbodarna och Molnvädersgatan. Flödesregleringen sker genom fördröjning av dagvattnet med hjälp av ett strypt utlopp. Magasinet är utsprängt ur berget och kan magasinera cirka 1000 m³. Dagvatten inkommer till magasinet via en Ø800. Magasinet är ett seriekopplat genomströmningsmagasin, vilket betyder att vid torrvädersflöde sker ingen påverkan från magasinet utan vattnet rinner obehindrat via en halv Ø500 i golvet. Magasinets botten lutar i flödesriktningen och vinkelrätt flödesriktningen med cirka 5 %. Då inflödet ökar dämmer vattnet upp i magasinet och en fördröjning uppstår.

Vid intensiva och långvariga regn kan magasinet överbelastas. Då träder ett nödutlopp i kraft i form av en hävert. Tömningskapaciteten för magasinet ökar då kraftigt för att förhindra översvämning. Häverten tömmer vatten från magasinet och för det till en punkt nedströms där den sammanstrålar med den strypta utloppsledningen. Ledningsnätet nedströms magasinet klarar av den ökade belastningen utan risk för översvämningar. Flödet genom hävertledningen pågår tills dess att hävertens inlopp inuti magasinet luftas och sugeffekten försvinner. Häverten har en diameter på 150 mm, vilket ger en nästan fördubblad tömningskapacitet och dess utformning kan ses i figur 15-16.



Figur 15: Ledning mot hävert och vägg till magasin



Figur 16: Hävert

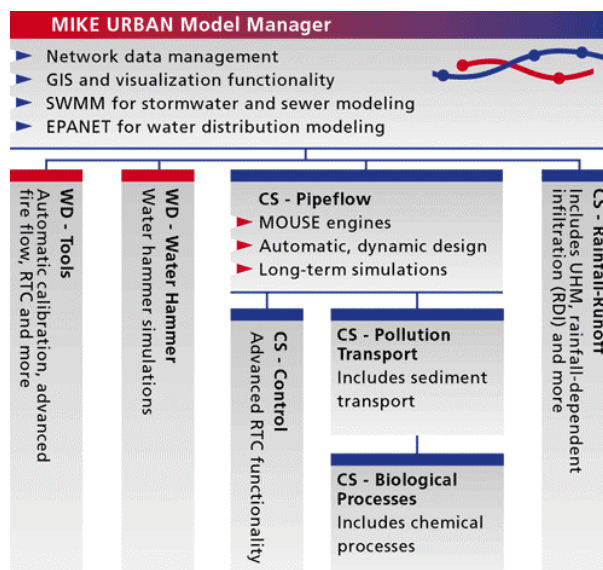
11 Beskrivning av Datorprogram

I följande kapitel ges en beskrivning av de datorprogram som använts i examensarbetet.

11.1 MIKE URBAN

MIKE URBAN är ett datorverktyg utvecklat av danska DHI, Dansk Hydraulisk Institut, för modellering av både vattenledningssystem och avloppssystem i en gemensam GIS-miljö. MIKEURBAN är en komplett modelleringsmiljö som inkluderar de senaste versionerna av två av de mest kända och respekterade fria modelleringsverktygen – SWMM5 och EPANET. SWMM är det dynamiska modelleringspaketet för dagvatten och avloppssystem utvecklat av den amerikanska myndigheten US EPA. EPANET är ett väl använt verktyg för modellering av vattendistributionssystem.

Utöver detta innehåller MIKEURBAN flera moduler som MOUSE samt flera verktyg för modellering av kombinerade system och vattendistribution. Dessa program kombineras på ett effektivt sätt med GIS-miljön vilket ökar möjligheterna och underlättar arbetet vid uppbyggnaden och användandet av en datormodell. Till exempel kan ortofoton läsas in och läggas som bakgrund till ledningsnätet vilket ökar översikten och gör modellerandet roligare. I detta examensarbete har MOUSE och Arcmap använts för att uppbyggnad och simulering. I figur 17 visas en översikt över moduluppbyggnaden i MIKEURBAN [32].



Figur 17: Modulstrukturen i MIKEURBAN.

11.2 MOUSE

MOUSE står för *Modeling Of Urban Sewers* och är ett av världens mest utspridda och använda verktyg för analys av avloppssystem i urban miljö. Det utvecklades av danska DHI tillsammans med Danmarks tekniska universitet och två privata danska företag. Den första versionen av MOUSE för PC släpptes 1985. Sedan dess har programmet sålts till mer än 20 länder. MOUSE består av flertalet moduler som beskriver bland annat ytavrinning, infiltration, ledningsflöden och föroreningsbelastningar [32; 33].

MOUSE är ett kraftfullt datorprogram som kombinerar hydraulik, hydrologi, vattenkvalitet och föroreningstransport. Genom simulering kan olika lösningar testas och jämföras med varandra på ett enkelt sätt. Programmet kan användas inom en rad olika tillämpningar:

- Åtgärdsplanering på spill- och dagvattenledningar
- Kapacitetsberäkningar för lokalisering av trånga sektioner
- Beräkningar av bräddvolym
- Analys av orsaker till översvämningar
- Dimensionering av utjämningsmagasin
- Analys av dagvattenavrinning
- Utredning av sedimenttransport i ledningsnät
- Vattenkvalitetsberäkningar
- Optimering av styr- och reglerfunktioner

MOUSE tillåter att man bygger ut med tilläggsmoduler för beräkning av bland annat grundvatteninläckage och sedimenttransport och styrfunktioner med mera. I examensarbetet har TRAP-modulen använts för att beräkna föroreningsbelastningar och RTC-modulen för att ta fram och optimera styrfunktionen för kvalitetstyrningen.

11.3 ArcMap

Arcmap är ett GIS-verktyg som är integrerat i MIKE URBAN. Programmet har använts för att föra över ledningsnätet från va-verkets databas till MIKE URBAN. I Arcmap kan man göra modifieringar av de indata som används till simuleringen som avrinningsområden, folkmängd och vattenförbrukning med mera. Exempelvis kan avrinningsområdets storlek göras mindre eller större eller vattenförbrukningen räknas om. När modifieringen är gjord läses filen in av MIKEURBAN med de nya ändringarna gjorda.

11.4 MIKEVIEW

Resultaten från MOUSE analyseras i programmet MIKEVIEW. Resultatfilen från simuleringen laddas in och tillåter användaren att titta på flöden, nvåer, föroreningar mm för separata ledningar, noder eller hela systemet. Resultaten kan ses i form, grafisk form eller i en longitudinell profil.

12 Arbetsgång för konstruktion av MOUSE-modell

I följande kapitel ges en beskrivning av hur MOUSE-modellen konstruerats.

12.1 Ledningsnät

MIKE URBAN lämpar sig särskilt bra i detta examensarbete då syftet är att använda en högdetaljerad modell där föroreningstransporter kan simuleras. En högdetaljerad modell som denna omfattar ett stort område och ledningsnät. Med GIS-verktygen kan ett ledningsnät läsas direkt in i MOUSE med alla egenskaper färdiga, förutsatt att ledningsnätet existerar i GIS-form.

Göteborgs va-verk har sedan tidigare hela stadens ledningsnät i digital form. Ledningsnätet och topografiska data finns som filer i en databas där varje fil innehåller en specifik typ av element. Det finns en fil med kombinerade ledningar, ett med spillvattenledningar och så vidare.

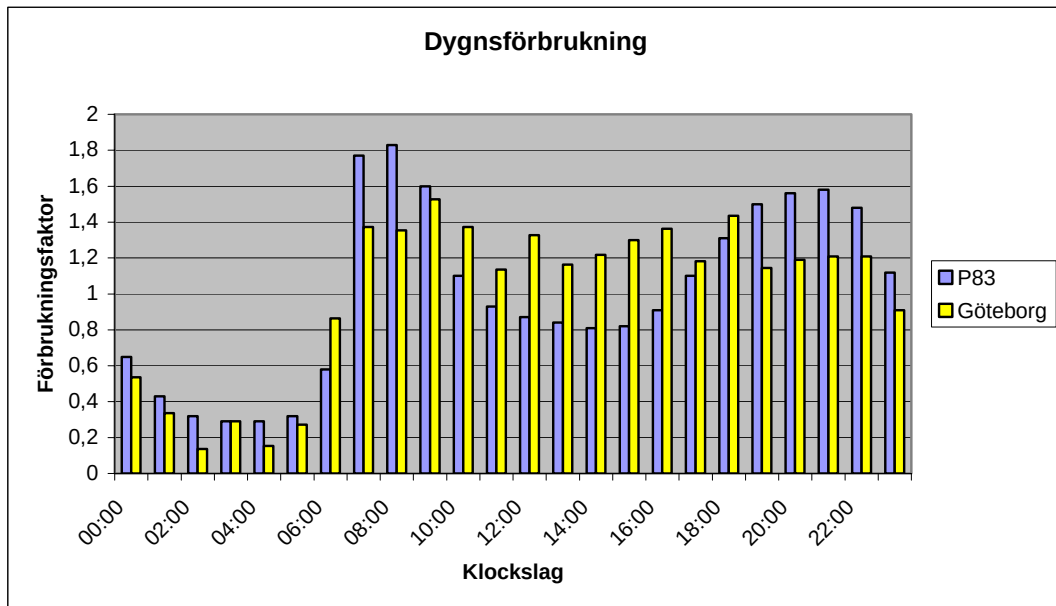
Arbetet med att skapa en detaljerad datormodell över Krokängsparkens avrinningsområde startade med att korrigera ledningsnätets z-koordinater (höjdkoordinater). Då va-verket tidigare bytt system har en stor del av ledningarna och brunnarnas höjdkoordinater gått förlorade. Koordinaterna finns angivna grafiskt, men är inte kopplade till elementen. Detta fick göras manuellt i Autocad där varje element med felaktiga z-koordinater korrigerades till sin rätta höjd.

För att kunna läsa in aktuell data i MIKEURBAN krävs att filerna har ett specifikt format som heter shape. Filer med ledningar och brunnar kan exporteras till detta format på ett enkelt sätt via MAPINFO för att sedan läsas direkt in i MIKEURBAN. Korrigeringar fick göras i MOUSE för de ledningar och brunnar som saknade egenskaper i va-verkets databas. Nu fanns ett komplett ledningsnät i MOUSE med tillhörande material och dimensioner.

12.2 Spillvattenförbrukning

Spillvattenflödet i modellen är hämtat utifrån dricksvattenförbrukningen i det aktuella området och ett antagande om att allt dricksvatten blir spillvatten har gjorts. Data över dricksvattenförbrukningen är beräknad för och kopplad till respektive fastighet. Med hjälp av GIS-verktygen i MIKE URBAN kan vattenförbrukningen göras till geografiska belastningspunkter som i MOUSE sedan kopplas till närmsta nod.

För att modellen skall ge ett så precist resultat över dygnet som möjligt är det viktigt att beakta torrvädersflödets dygnsvariation. På grund av människans rutiner ändras spillvattenflödet över dygnet med vattenbehovet för dusch, toalettbesök, industrins vattenbehov med mera.



Figur 18: Torrvädersflödets variation över dygnet relativt dygnsmedelförbrukning

Figur 18 ovan visar dygnsvariationsskillnaden mellan förbrukningen i P83 och i Göteborg. Skillnaden mellan staplarna är för att i Göteborg räknas alla sorts vattenförbrukande processer under dygnet i Göteborg in, till skillnad från P83 som tagit sina värden från ett villaområde. Som visas ger variationen för Göteborg en mer utjämnad serie utan topparna som finns i P83. Genom att använda förbrukningsfaktorn för Göteborg bör resultaten ge ett mer representativt värde för dygnsvariationen i examensarbetet. Värdena för Göteborg är hämtade från pumpstationernas vattenåtgång den 12 november 1997.

12.3 Avrinningsområden i modellen

Göteborgs va-verk har sedan tidigare uppdelade område för dagvatten och spillvatten. Dessa har legat till grund då avrinningsområden skapats i modellen. I MIKEURBAN finns ett verktyg som automatiskt skapar avrinningsområden utifrån valda ledningar eller noder. På detta sätt kan en mängd små områden skapas med väldigt liten koncentrationstid. Detta är lämpligt för en högdetaljerad modell eftersom det annars krävs mycket arbete med att slå ihop avrinningsområden för vilka koncentrationstiden måste beräknas manuellt. Att beräkna rinntider är en potentiell felkälla som på detta sätt elimineras samtidigt som många små områden gör att man kommer verkligheten närmare redan från början och därmed görs kalibreringen enklare.

För att beräkna andelen hårdgjord yta för respektive avrinningsområde importeras data över hustak och vägar från va-verkets GIS-databas och läggs in som ett bakgrundslager i MOUSE. Programmet beräknar sedan själv hur stor andel inom varje område som är hårdgjord. I modellen har antagande gjorts om att 100% av den hårdgjorda ytan och 0 % av övrig yta är verksam.

12.4 Bräddavlopp och magasin

I avrinningsområdet finns två bräddavlopp, Krokängsparken och Danagatan. Båda bräddarnas avbördning regleras i modellen genom inlagda Q/h-samband. Krokängsparkens Q/h-samband är kalibrerat mot fältmätningarna medan Danagatans endast är teoretiskt beräknat. Vid jämförelse av det uppmätta och det teoretiska sambandet för Krokängsparken fanns att överensstämmelsen var relativt god varför sambandet för Danagatan kan anses vara nära verkligheten.

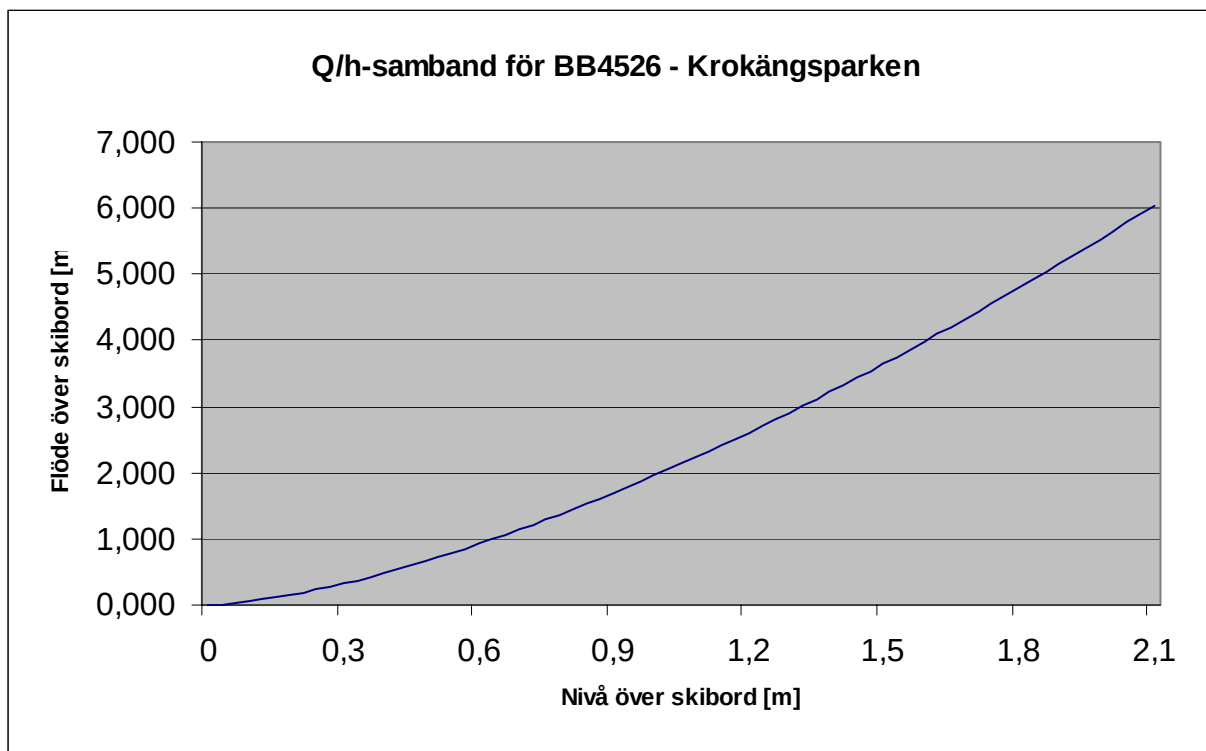
På Danagatans bräddavlopp har skibordet varierande höjd vinkelrätt strömningsriktningen. Detta löstes i genom att ett gemensamt Q/h-samband togs fram för båda skiborden som kunde användas i modellen.

Genomströmningsmagasinet på Molnvädersgatan är definierat som tre på varandra följande ledningar med olika tvärsektioner. Magasinet har ett nödutlopp i form av en hävert vilken är definierad i modellen som en pump med hävertens högsta nivå och inlopp som start respektive stoppnivå.

12.4.1 Beräkning av Q/h-samband - Krokängsparken

Q/h-sambandet för Krokängsparkens bräddavlopp har beräknats med formeln för avbördning över skibord [2] och kalibrerats mot fältmätningar. Skibordets längd, L är 1,2 meter och avbördningskoefficienten μ , erhöles genom mätningarna till 0,56.

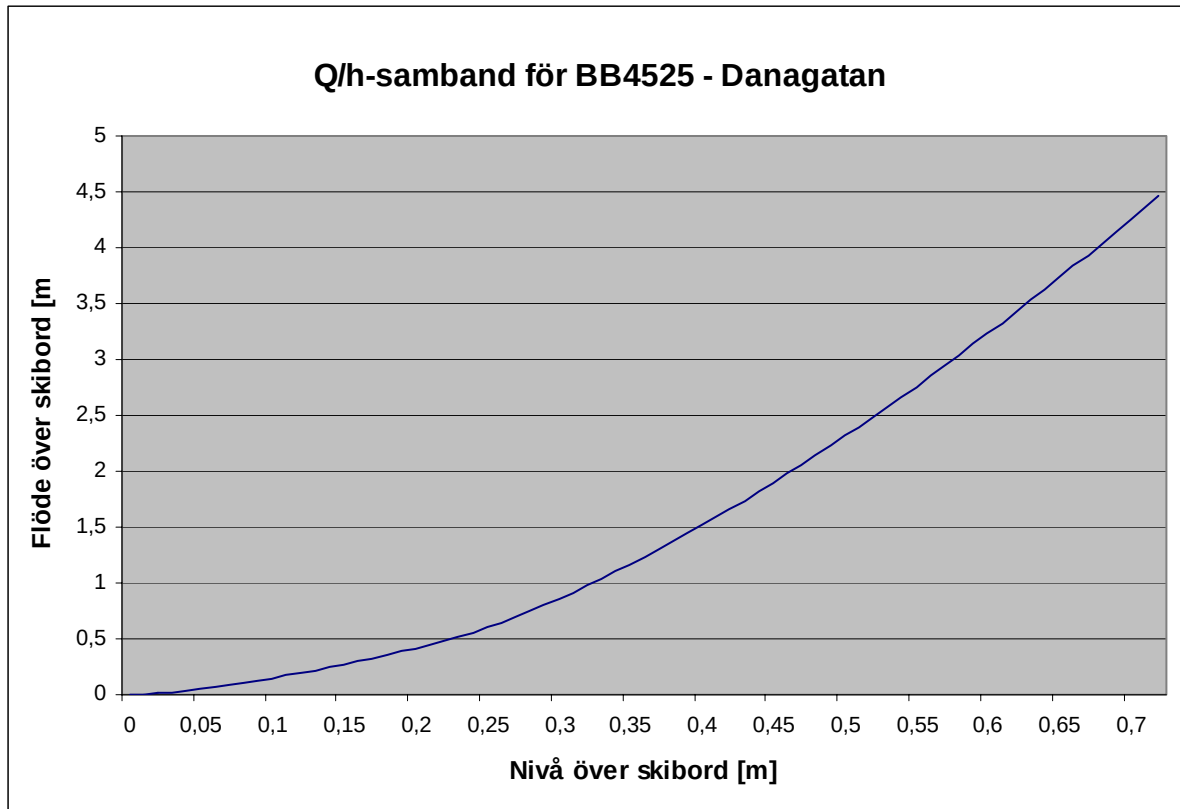
Formel (1):
$$Q = \frac{2}{3} \times \mu \times L \times \sqrt{2g} \times h^{3/2}$$



Figur 19: Framtaget Q/h-samband för Krokängsparkens bräddavlopp, BB4526

12.4.2 Beräkning av Q/h-samband - Danagatan

Q/h-sambandet för Danagatans bräddavlopp beräknades enligt formel (1). Då skibordet består av två olika höga delar beräknades först sambanden separat för att sedan slås ihop till ett. Skibordets totala längd är 5,5 meter och avbördningskoefficienten sattes till 0,6 enligt [29].



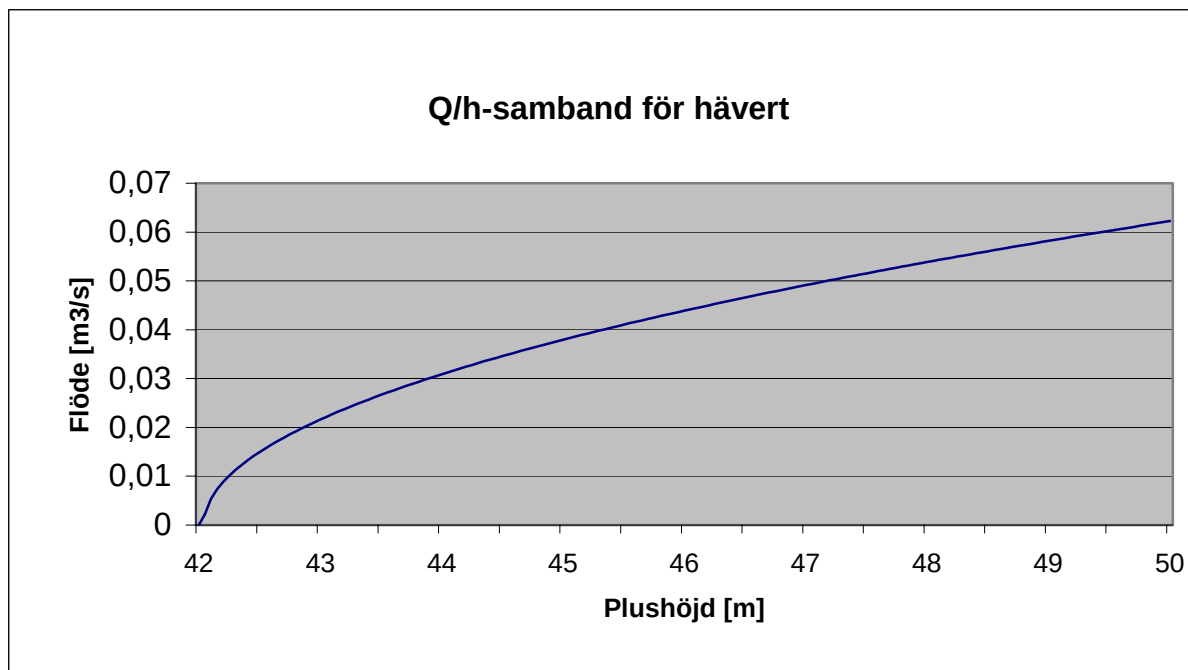
Figur 20: Q/h-samband för BB4525 - Danagatan

12.4.3 Beräkning av Q/h-samband - Magasin

Q/h-sambandet för häverten i magasinet på Molnvädersgatan beräknades med hjälp av energiekvationen.

$$\text{Formel [2]: } Z_1 + \frac{p}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} = Z_2 + \frac{p}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} + h_f + h_t$$

Indatan som användes för att få ut flödeskurvan togs fram ur [30]. En interpolation blev nödvändig i Colebrookes diagram vid $k = 1,0 \text{ mm}$, för att få ut flödet vid 15 % med en $\phi 150$. Tilläggsförlusterna består av krökförluster samt in- och utströmningsförluster.



Figur 21: Q/h-samband för Molnvädersgatus hävert

12.5 Föroreningstransport

I modellen simuleras föroreningar från spillvatten och dagvatten

Föroreningskoncentrationerna i spillvattnet är hämtade från schablonvärden som tillhandahålls av va-verket, se tabell 1.

Tot-N [mg/l]	PO4 [mg/l]	Cd [mg/l]	Cu [mg/l]	Zn [mg/l]
47	7	0,00022	0,036	0,082

Tabell 1: Schablonhalter för spillvatten.

Föroreningar som kan härledas till dagvattnet beräknades med hjälp av Storm Water Quality som är en tilläggsmodul till ArcMap. För varje typ av hårdgjord yta, exempelvis hustak och vägytor, anges en koncentration för respektive förorening. Programmet beräknar sedan en medelkoncentration för varje delområde utifrån den angivna koncentrationen och fördelningen av de hårdgjorda ytorna inom området. I modellen antas alla hustak ha lika koncentrationer och detsamma gäller vägytorna. Hjalmar Brantingsgatan belastas av större trafikmängd och angavs därför en högre koncentration. Resterande ytor har angetts normala koncentrationer enligt tabell 2.

[mg/l]	TSS	Cd	Cu	Zn	N	PO4	BOD
Hög	400	0,0015	0,1	0,4	3,5	0,3	0,075*TSS
Normal	100	0,0005	0,03	0,13	1,8	0,1	0,075*TSS

Tabell 2: Schablonhalter för dagvatten.

12.6 Förenklingar och antaganden i modellen

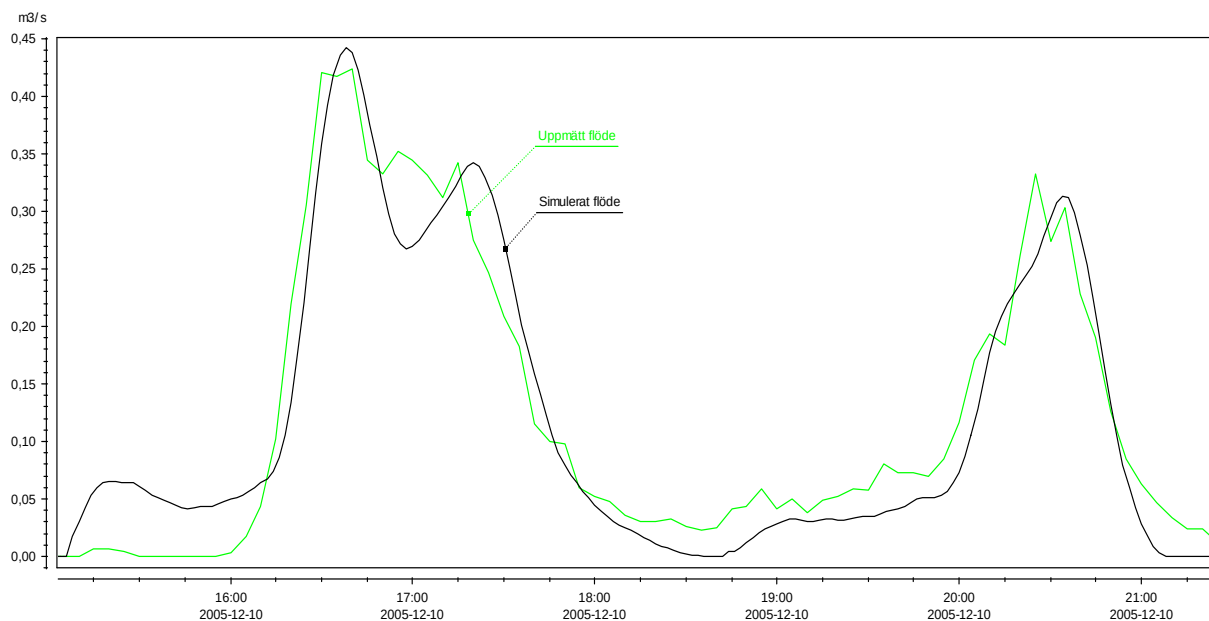
- Vattnet antas vara totalomblandat, det vill säga att koncentrationen på bräddvattnet är densamma som för inkommande. En utredning gjord av Göteborgs va-verk 1990 på ett bräddavlopp i Bellevue i Göteborg, där omfattande kvalitetsmätningar gjordes, visar att överensstämmelsen mellan föroreningskoncentrationerna i vidaregående vatten till reningsverket och bräddvattnet är relativt god och ett antagande om totalomblandat avloppsvatten därför är befogat [19].
- Rätlinjig utspädning – ingen hänsyn tas till First Flush vid ökat dagvattenflöde

12.7 Kalibrering av MOUSE-modellen

Kalibrering av MOUSE-modellen skedde mot inkommande flöde till brädden, vattennivån i bräddbrunnen samt bräddflödet. Tonvikten lades på att få bräddförloppet att stämma så bra överens med mätningarna som möjligt då detta är det mest intressanta för examensarbetet. Kalibreringen gjordes mot tre regntillfällen under december 2005 och ett under januari 2006.

Följande parametrar användes för kalibreringen.

- Torrvädersflödet påverkar inte bräddvolymen eller bräddförloppet anmärkningsvärt då andelen i det totala bräddflödet är relativt liten. I en högdetaljerad modell, som den som gjorts i detta examensarbete, har syftet varit att beskriva alla indata så noggrant som möjligt. Därför kalibrerades torrvädersflödet i modellen mot fältmätningar gjorda under ett antal torra dygn. Det simulerade flödet blev något lägre än det uppmätta. Felet i torrvädersflödet kalibrerades genom att lägga på ett extra flöde i modellen.
- Den verksamma arean spelar en avgörande roll för hur mycket vatten som når ledningssystemet vid avrinning och är således en starkt påverkande parameter till bräddvolymen och bräddförlopp. Till en början användes i modellen den hårdgjorda yta som beräknats utifrån de SHAPE-filer över tak- och vägytor som inhämtats från va-verkets databas. Denna yta beräknades till 84 ha. Det upptäcktes snart att denna yta gav för lite flöde vid simulering och ökades till 87 ha för att komma närmare verkligheten.
- För att jämna ut inflödet till brädden och göra systemet trögare justerades Mannings tal från 85 ner till 60 för alla ledningar.
- För att få bräddstarten att ske vid rätt tidpunkt korrigerades den initiella förlusten. Initiell förlust representeras i modellen bland annat av verklighetens håligheter i marken och andra vattenbehållande ansamlingar som fylls upp i början av ett regn och på så sätt fördröjs tiden det tar innan vattnet når ledningssystemet. Innan kalibrering skedde bräddstart något sent jämfört med de i fält uppmätta värdena och den initiella förlusten minskades då med 50 % vilket gav ett betydligt bättre resultat.
- För att få bräddförloppet att stämma ytterliggare överens med mätningarna ändrades koncentrationstiden från sju till två minuter. Sju minuter är standardvärdet som MOUSE använder då avrinningsområden skapas automatiskt.



Figur 22: Simulerat bräddflöde jämfört med uppmätt under ett regntillfälle 20051210.

I början av bräddtillfället ger modellen en puckel som inte sker i verkligheten, som ses i figur 22 ovan. Denna avvikelse beror sannolikt på att det aktuella regnet som uppmätts av regnmätaren på Barlastplatsen inte varit konstant i sin utbredning till en början och ger därför något felaktig bräddstart. En kontroll gjordes med ett regn från en regnmätare uppställd vid RYA-verket varefter bräddstarten stämde bättre men där resten av förloppet gav felaktiga flöden.

Avrinningsområdet breder ut sig över cirka 3 km i nord-sydlig riktning. Den sydligaste delen ligger 1200 meter från regnmätaren vilket gör att regndata inte alltid är representativa, särskilt för kortare regntillfällen. För att få simulerade flöden att överensstämma helt med verkligheten krävs en regnmätare inom avrinningsområdet.

I tabell 3 redovisas simulerade volymer jämfört med uppmätta för de tre kalibreringsregnen.

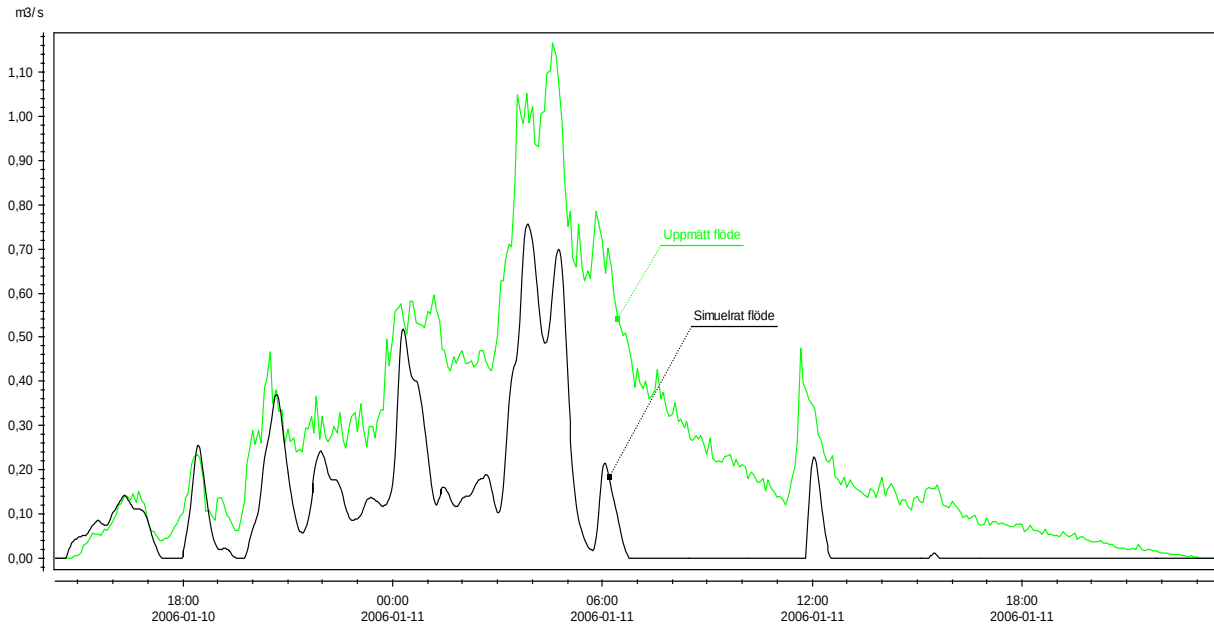
	Volym uppmätt [m ³]	Volym Simulerad [m ³]	Differens [%]
Bräddtillfälle 1 [10/12]	2837	2737	3,5
Bräddtillfälle 2 [21/12]	1270	1278	1
Bräddtillfälle 3 [23/12]	175	225	22

Tabell 3: Volymjämförelser över kalibreringsregn i december

12.8 Verifiering av MOUSE-modellen

På grund av den korta mätserien som examensarbetet fick tillgång till ledde detta till att få regn registrerades som kunde användas. Förhållanden som påverkar de uppmätta värdenas tillförlitlighet är temperatur under nollstrecket vilket orsakar större ytaavrinning genom marktjäle, men också snö som smälter i samband med regn.

Dessa inverkan faktorer påverkade resultatet till den grad att kalibreringen gjordes på ett enda regn och verifieringen fick ske på det viset att endast regnets förlopp kunde utvärderas någorlunda säkert och inte det ackumulerade flödet. Det regn som användes som verifiering till förloppet visade dock goda överensstämmelser med regnförloppet som visas i figur 23 nedan.



Figur 23: Verifieringsregnet, uppmätt flöde kontra simulerat flöde i inkommande ledning

12.9 Svagheter i modellen

I modellen tas ingen hänsyn till årstidsvariationer. Under vinterhalvåret sker större grundvatteninträngning i ledningarna samtidigt som snösmältningen påverkar bräddning avsevärt. Samtidigt ökar andelen hårdgjord yta under vinterhalvåret då marken fryser, vilket påverkar avrinningsförloppet. För att simulera årstidsvariationer krävs betydligt längre mätserier att kalibrera mot, vilket detta examensarbete inte haft tillgång till för det specifika avrinningsområdet.

I modellen tas ingen hänsyn till den långsamma avrinning som sker eller det ökade inläckaget efter ett regn. Följden av detta blir att modellen reagerar snabbare än verkligheten. Speciellt påtagligt blir detta efter ett regn då det i verkligheten sker en långsammare avklingning av flödet än simulerat. För bräddflödet spelar detta mindre roll då nivån under avklingningen befinner sig under skibordskanten.

Modellen kan inte simulera First Flush-förloppet. För att kunna göra en ordentlig uppskattning av effekten av föreslagna åtgärder bör kvalitetsmätningar göras så att First Flush-förloppet kan kartläggas och styrningen optimeras.

13 Åtgärdsförslag för kvalitetsstyrning

De föreslagna åtgärderna är begränsade till Krokängsparkens bräddavlopp. På grund av de rådande förutsättningarna i avrinningsområdet och ledningsnätets bristande kapacitet, med avseende på överbelastningar, bör inga åtgärder föreslås på bräddavloppet som påverkar nivåerna i systemet negativt då detta ökar risken för översvämningar ytterligare. Vidare har åtgärderna utformats med ekonomiska och praktiskt möjligt genomförbara aspekter i beaktande. Dock har de inte spelat en avgörande roll för valet av den i slutet föreslagna åtgärden.

Samtliga simuleringar har gjorts med regnserien för 2005. Detta valdes med hänsyn till att på senare år har regnmängden varit större än jämfört med normalårsregnserien, 1926. För 2005 var den totala nederbörden cirka 786 mm, vilket kan jämföras med medelvärdet sen 1917 på 720 mm [5].

13.1 Förutsättningar

Styrningen av avloppsvattnet reglerar flödet till reningsverket samt bräddflödet. Hur mycket vatten som kan ledas till rening beror av systemets kapacitet nedströms brädden samt mottagarkapaciteten vid reningsverket.

13.1.1 Mottagarkapacitet

När det gäller åtgärdsförslag kan två typfall beaktas. I det ena antas mottagarkapaciteten vid Ryaverket vara obegränsad medan den i det andra fallet är begränsad.

I fallet med obegränsad kapacitet finns möjlighet att inte bara styra First Flush-flödet till rening utan också efterföljande vatten vilket minskar belastningen på recipienten markant. Allt vatten kan således föras till rening. Begränsningen utgörs då istället av ledningskapaciteten nedströms brädden samt borrhålets kapacitet. I Krokängsparkens bräddavlopp är maxflödet idag cirka 220 l/s innan bräddning sker. För att klara flödestopparna bättre måste kapaciteten till reningsverket ökas.

Vid fallet med begränsad kapacitet är målet att föra så mycket vatten till reningsverket som möjligt utan att överbelasta samtidigt som man vill maximera styrningen av höga föroreningshalter och minimera utsläppet till recipienten. Optimalt är då att enbart styra det vatten med höga koncentrationer mot borrhålet medan efterföljande vatten, innehållande lägre föroreningskoncentrationer, tillåts att brädda. Svårigheten ligger i att bestämma hur stort bräddflöde efter styrningen som ska tillåtas, det vill säga hur begränsad mottagarkapaciteten är.

Idag är medelflödet in till Ryaverket cirka 4 m³/s. Upp till 15 m³/s kan behandlas mekaniskt medan kapaciteten för kemisk rening varierar mellan 4 m³/s och 10 m³/s beroende på slamegenskaper och eftersedimenteringskapacitet. Dessutom finns en fosforbehandling av bräddvatten vars kapacitet är 3 m³/s. [36] Flödesökningen vid regn står de kombinerade avloppen för.

Hur stort ökat flöde som kan tillåtas till reningsverket är över svårt att uppskatta. Idag är cirka 3950 ha anslutet till Ryaverket varav 1560 ha är hårdgjord. Av detta utgör den hårdgjorda ytan anslutet till Krokängsparkens avrinningsområde cirka 6 %. Antag att bräddning helst inte

bör ske vid Rya utan minst kemisk rening eller bräddvattenrening. Antag också att medelkapaciteten för den kemiska reningen är $7 \text{ m}^3/\text{s}$. Då fås en maximal kapacitet vid regn på $10 \text{ m}^3/\text{s}$ innan bräddning med endast mekanisk rening sker. Dessa $10 \text{ m}^3/\text{s}$ antas kunna fördelas jämnt över den totala hårdgjorda ytan, vilket ger ett tillåtet flöde från Krokängsparkens bräddavlopp på cirka 600 l/s . Detta resonemang är väldigt förenklat men ger en liten inblick över problematiken.

13.1.2 GRYAAB:s inställning

Idag betraktas reningsverket separat från avloppsnätet när det gäller utsläpp av föroreningar och de krav som föreligger gäller endast reningsverket. Följden av detta blir att GRYAAB ställer sig negativa till att ta emot mer vatten eftersom de redan har svårt att uppfylla de allt hårdare kraven. Problemet ligger i att ur avloppsnätets perspektiv bör så mycket vatten som möjligt föras till rening medan sett ur reningsverkets perspektiv, där det viktiga är att klara utsläppskraven, inte är önskvärt med mer vatten.

Utsläppen från avloppsvatten beaktas alltså som två helt åtskilda delar fast det är den totala mängden som är det väsentliga sett ur miljöns perspektiv. Att vatten som släpps ut helt orenat vid en bräddpunkt i närheten, istället för att genomgå någon form av rening, och påverkar miljön mer negativt förbises helt och hållet och är ett motsägelsefullt sätt att se på problemet.

13.1.3 Praktisk och ekonomisk genomförbarhet

Med hänsyn till kostnad och praktisk genomförbarhet har vissa alternativ förkastats. Till de hör bland annat magasinering samt styrning baserad på föroreningskoncentrationer i avloppsvattnet.

Det mest uppenbara alternativet till styrning är att föra mer vatten till reningsverket i början av eller under hela nederbördstillfället genom flödesreglering med hjälp av styrbara luckor och skibord, vilket är en relativt enkel och kostnadseffektiv åtgärd. I Krokängsparkens bräddavlopp finns en befintlig lucka som skulle kunna användas för styrning.

Eftersom den $\varnothing 400$ som för vattnet från brädden mot borrhålet redan idag är hårt belastad krävs en dimensionsökning för att flödet till reningsverket ska kunna ökas. Två alternativ har beaktats:

- Det första innebär en ökning från $\varnothing 400$ till $\varnothing 500$. Då behöver endast två meter ledning läggas om
- Alternativ två innebär om ytterliggare kapacitet är önskvärd att $\varnothing 400$ byts till $\varnothing 600$, men då måste även den efterföljande $\varnothing 600$ ökas till $\varnothing 800$.

Åtgärd	Bräddstartflöde [l/s]	Ökning [%]
Ø400 + skibord 12.79 (Innan åtgärd)	213	-
Ø500 + skibord 12.79	240	13
Ø600 + Ø800 + skibord 12.79	260	22
Ø500 + skibord 13.30	620	191
Ø600 + Ø800 + skibord 13.30	805	278

Tabell 4: Bräddstartsjämförelse för olika ledningsdimensioner och skibordshöjder

En fördel med att öka kapaciteten till borrhålet är att det vid kraftigt regn, då risk för överbelastning uppströms brädden uppstår, finns möjlighet att avlasta genom att föra mer vatten till rening.

Alla simuleringar som gjorts, har förutsatt att råheten är densamma i de omlagda ledningarna som innan åtgärd. Detta är en felaktighet då ledningarna är nya, vilket ger ett högre Mannings tal och ett lägre k-värde. Den verkliga ökningen av bräddstartflödet är därför sannolikt större än det redovisade. Detta kommer att resultera i högre och senare bräddstartsflöden. I det långa loppet däremot så stämmer siffrorna och tiderna bättre överens med de simulerade.

Alla åtgärder förutsätter att borrhålet har fri utströmning, det vill säga att det ej kan ske någon dämning nedströms brädden mot borrhålet. Figurer på bräddflödena med olika ledningsdimensioner visas i bilaga C1 – C3.

13.2 Åtgärdsförslag 1A – Begränsad kapacitet

Ett ökat flöde till reningsverket vid regn möjliggörs genom att den cirka två meter långa Ø400-ledningen byts till en Ø500. Flödet till bräddledningen regleras med hjälp av ett justerbart skibord styrt av en sensor i bräddbrunnen som registrerar vattennivån. Då nivån stiger ges en signal till en styrdator och skibordet höjs från 12,79 m till en given nivå tills dess att First Flush är beräknas vara över och sänks sedan till sin ursprungsposition. Bräddstartflödet ökar då från 213 l/s till 620 l/s enligt tabell 4. Kontrollsimuleringar med 10-års regn visar att skibordet kan höjas till minst 13,30 utan att påverka nivåerna negativt då ledningsdimensionen är Ø500 (jämför bilaga H1 och H2).

13.3 Åtgärdsförslag 1B – Begränsad kapacitet

Åtgärdsförslag 1B är detsamma som åtgärdsförslag 1A med undantag för en grövre ledningsdimension där Ø400 ledningen byts till Ø600 och efterföljande Ø600 till Ø800. Bräddstartflödet blir då 805 l/s. Simuleringarna har gjorts med samma skibordsnivåer som i åtgärdsförslag 1.

I förslag 1A-B sänks skibordet när styrtiden är över för att öka flödet genom bräddledningen. Att uppnå dagens bräddflöde endast genom sänkning av skibordet är svårt beroende på utformningen av bräddbrunnen. Detta blir särskilt tydligt vid höga flöden. Se bilaga D1 – D2.

Om mottagarkapaciteten är begränsad måste flödet efter styrningen minskas igen till dagens bräddflöden. Detta kan göras på två sätt enligt följande:

- Den ökade ledningsdimensionen kompenseras genom att sänka skibordet till en lägre nivå än idag, vilket ökar flödet mot bräddledningen och därmed minskar flödet till borrhålet.
- En styrd lucka ovanför ledningen till borrhålet stryper flödet till borrhålet

Vilket alternativ som bör användas beror på *hur* i realiteten begränsad mottagarkapaciteten i reningsverket är. Två fall beaktas:

- Antagandet att flödet till reningsverket efter styrning kan vara något högre än i nuvarande situation. Ett sänkt skibord åstadkommer detta och inga fler åtgärder är nödvändiga.
- Antagandet att flödet till reningsverket efter styrning inte får vara högre än i nuvarande situation. Då erfordras alternativ två då det är svårt att uppnå nuvarande bräddflöde endast genom att sänka skibordet, vilket gör att en strypning krävs.

I gjorda simuleringar sänks skibordet till 12.68, vilket är 11 cm lägre än dagens nivå, för att öka bräddflödet efter styrning (se bilaga D2).

13.4 Åtgärdsförslag 2A – Begränsad kapacitet

Ledningsdimensionen till borrhålet ökas från Ø400 till Ø500. Skibordet behålls på dagens nivå eller höjs permanent från 12,79 till 13,00. En styrd lucka, styrd av en sensor i bräddbrunnen reglerar flödet till borrhålet. Vid bräddstart är luckan helt öppen och maximalt flöde tillåts gå till reningsverket. Efter First Flush stryper luckan flödet och bräddflödet ökas till det motsvarande bräddflödet innan åtgärd.

13.5 Åtgärdsförslag 2B – Begränsad kapacitet

Åtgärdsförslag 2B är detsamma som åtgärdsförslag 2A med undantag för en grövre ledningsdimension. Ø400 ledningen byts till Ø600 och efterföljande Ø600 till Ø800. Simuleringarna har gjorts med samma skibordsnivåer som i åtgärdsförslag 1.

Nackdelen med lösningsförslag 2A-B är att en konstant höjning av skibordet ger högre nivåer lokalt än idag då luckan stryper flödet till reningsverket om dagens bräddflöde ska uppehållas. Enligt gällande normer är riskerna för överbelastning redan överskridna vilket gör en konstant skibordshöjning tveksam. Utifrån detta har tre alternativ beaktats:

1. Skibordet behålls på nuvarande nivå. Detta medför inga ökade nivåer i bräddbrunnen vid strypning av vidaregående ledning till borrhålet.
2. En något förhöjd nivå lokalt accepteras vid strypning. Om nivån överstiger en bestämd nivå öppnas luckan och nivån sjunker. Nackdelen är då att reningsverket får ta emot ett större flöde.
3. Brädden byggs om så att ett större flöde kan avbördas vilket medför sänkta nivåer. Den ökade avbördningen bör vara så stor att den ökningen i nivå skibordshöjningen medför elimineras.

Alternativ ett och två har simulerats i rapporten medan det tredje överläts till va-verket för eventuell fortsatt utredning. I alternativ två har skibordsnivån 13.00 använts.

Figurer på åtgärdsförslagen I 2A och 2B finns redovisade i bilagorna D3 – D6.

13.6 Åtgärdsförslag 3 – Obegränsad kapacitet

Vid en obegränsad kapacitet i reningsverket tillåts allt vatten föras till reningsverket. Styrningen sker på samma sätt som i alternativ 1 men här behövs ingen strypning eller ytterliggare sänkning av skibordet efter styrning, för att minska flödet till reningsverket. Att öka ledningsdimensionen till borrhålet ytterliggare kan vara ett alternativ.

Det skall påpekas att de alternativ som föreslagits ovan är typfall. Lösningar som ligger mellan dessa fallen är självklart gångbara där man ökar volymerna mot reningsverket till viss del för att få en fördelaktigare bräddfrequens och mindre bräddvolym.

En fördel med att föra vidare väsentligt större mängder avloppsvatten till rening är att även fast reningsverket blir nödgad att brädda, så genomgås detta avloppsvatten ändå en mekanisk rening innan det pumpas ut i skärgården. Ytterliggare en fördel med att Ryaverket bräddar, är att bräddningen sker långt ut i skärgården och inte belastar Göta Älv.

13.7 Driftsäkerhet och konsekvenser vid fel

Vilka risker som föreligger och konsekvenser vid eventuella fel på utrustningen, spelar stor roll för valet och utformning av åtgärder. En bedömning har gjorts genom att simuleringar av ett kraftigt blockregn med varaktigheten 20 minuter och återkomsttiden 10 år, där styranordningarna inte fungerar. I åtgärdsförslag 1 betyder detta att skibordet inte sänks efter styrning och i åtgärdsförslag 2 att luckan fastnar i strypläge.

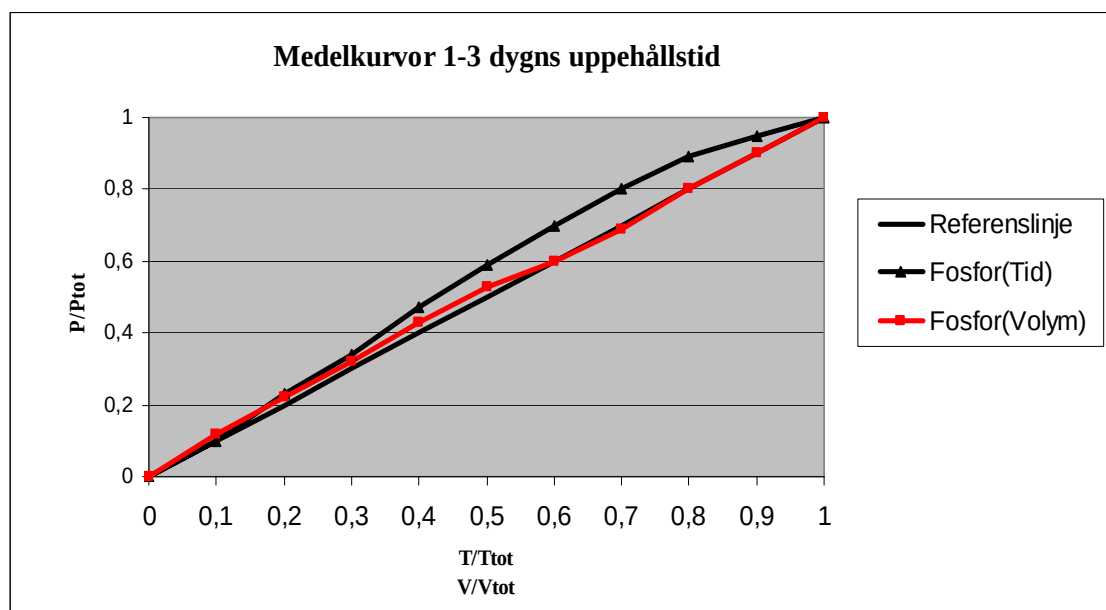
Vid valet av skibordsnivåer, ledningsdimensioner och lucknivåer har dessa valts så att nivåerna i systemet vid ett 10-års regn med varaktigheten 20 minuter inte överstiger nivåerna om det skett i nuvarande system. Konsekvenserna vid ett eventuellt fel i utrustningen blir alltså aldrig större än om ingen åtgärd genomförs. Åtgärderna skulle ge bättre resultat om skibordsnivåer med mera valts med större risk, men detta har inte beaktats i rapporten och lämnas därmed till va-verket för vidare analys.

I praktiken bör alla anordningar, för att minimera skadorna på omkringliggande byggnader vid ett maskinhaveri, automatiskt ställa sig ett sådant läge att översvämningsrisken i systemet minimeras och därmed de eventuella efterkommande kostnaderna. Vid höga belastningar ställs detta mot att maximalt flöde tillåts till reningsverket under en längre tid än vid styrning.

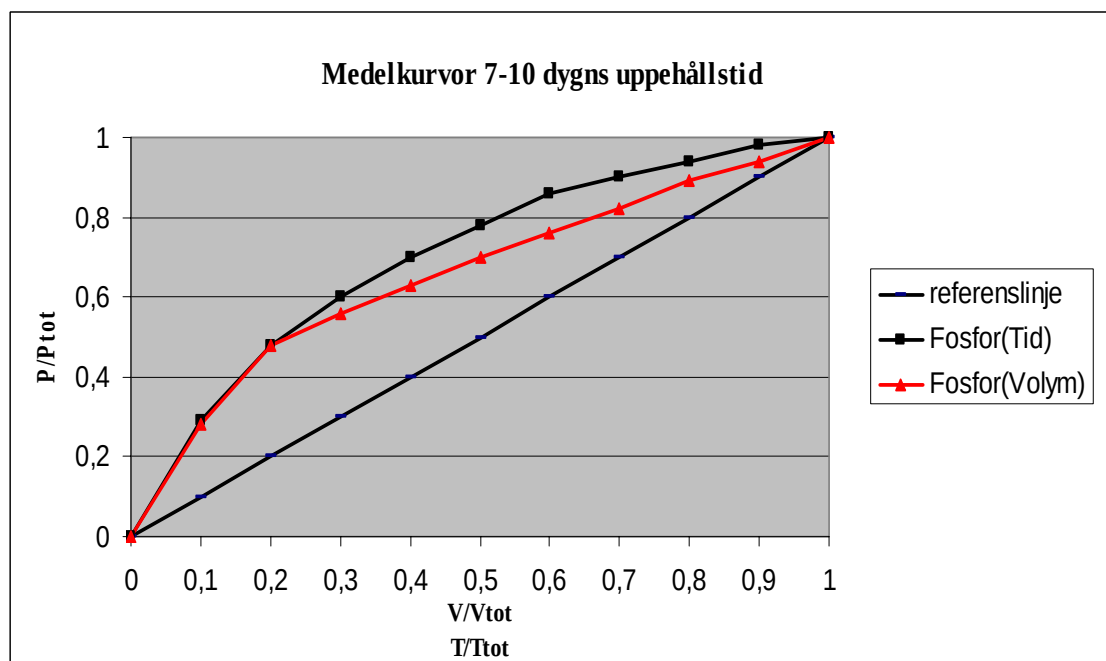
14 Styrfunktion

Hur styrfunktionen är utformad har stor inverkan på hur bra effekten av styrningen blir. Den viktigaste faktorn torde vara hur länge styrningen pågår för exempelvis olika uppehållstider.

Eftersom inga mätningar av vattenkvaliteten genomförts på Krokängsparkens bräddavlopp finns ingen kunskap om First Flush och hur föroreningskoncentrationerna varierar över tiden vid bräddning i detta område. Det är då svårt att uppskatta hur länge styrningen ska pågå. I va-verkets rapport "Bräddavloppsvattnets kvalitet och volymer" presenteras resultaten från omfattande kvalitetsmätningar vid bräddning för ett bräddavlopp i Göteborg. Att förhållandena vid detta bräddavlopp som utspädningsgrad, ytor, volymer skiljer sig från dem vid Krokängsparken är vi väl medvetna om, men rapporten har ändå beaktats.



Figur 24: Medelkurvor för fosfor med 1-3 dygns uppehållstid för Kodammarnas pumpstation.



Figur 25: Medelkurvor för fosfor med 7-10 dygns uppehållstid för Kodammarnas pumpstation.

I figur 25 ser man tydligt att First Flush fenomenet är mer uttalat vid längre uppehållstider, jämför figur 24, eftersom kurvornas tangenter är större än ett. För att uppnå en 50 %-ig minskning av bräddad fosformängd måste styrning vid korta uppehållstider ske 45 % av bräddtiden respektive 50% av totala bräddvolymen och för långa uppehållstider 30 % av bräddtiden respektive 40 % av totala bräddvolymen.

Hur länge styrningen bör pågå är också en kostnads/nytta fråga där effekterna av att belastningen på recipienten minskas måste jämföras med kostnaderna för reningen. Låt säga att rening är lönsam så länge kvoten nytta/kostnad är större än 1. I början av ett regn där föroreningskoncentrationen är hög blir effekten av rening jämfört med kostnaden övervägande och kvoten är större än 1. Med tiden minskar föroreningskoncentrationen medan kostnaden för rening förblir densamma och kvoten minskar för att till slut vara mindre än 1.

Hur lång tid detta motsvarar i verkligheten är svårt att uppskatta eftersom intensiteten och varaktigheten hos regnen varierar kraftigt. Vid den gjorda undersökningen varierade regnen mellan 70 och 340 minuter för 7-10 dygns uppehållstid.

Svårigheten att ta fram en bra styrfunktion för aktuellt område utan kvalitetsmätningar har gjort att en konstant styrtid använts i simuleringarna för samtliga alternativ. Styrtiden har baserats på områdets koncentrationstid som är cirka 80 minuter (se bilaga E1). Med detta som bakgrund har styrtiden 100 minuter använts.

15 Resultat

I följande kapitel ges resultaten och slutsatser för frågeställningen i examensarbetet.

15.1 Analys av Krokängsparkens bräddavlopp

Göteborgs va-verk har sedan tidigare teoretiskt beräknade data över Krokängsparkens brädd och vill veta om dessa stämmer överens med verkligheten. Parametrar av intresse är kritisk regnintensitet, flöde vid bräddstart, utspädningsgrad och torrvädersflöde. Med hjälp av flödesmätningarna beräknades dessa och jämfördes med va-verkets tidigare data för bräddavloppet enligt tabell 5 nedan.

	Beräknade	Uppmätta
Torrvädersflöde	30,05 l/s	31,4 l/s
Flöde vid bräddstart	220 l/s	218 l/s
Kritisk regnintensitet	2,04 l/s,ha	2,14 l/s,ha
Utspädningsgrad	7,3	6,9

Tabell 5: Va-verkets beräknade värden för Krokängsparkens bräddavlopp jämfört med uppmätta värden.

Resultatet av jämförelsen visar att va-verkets nuvarande värden stämmer väl överens med verkligheten. Slutsatsen blir således att brädden fungerar i verkligheten som i teorin och att nuvarande metoder är tillräckligt noggranna.

Vad gäller avrinningsområdet är ledningssystemet till största delen anlagt på 50- och 60-talet efter dåvarande normer. Dagens normer är betydligt strängare vilket betyder att kraven på återkomsttid för överbelastningar som till exempel källaröversvämningar inte uppfylls. Med överbelastning menas här fylld ledningshjässa eftersom ingen generell källarnivå är känd.

Vid kontrollsimuleringar med blockregn fanns att dimensionerande återkomsttiden för överbelastning på 10 år, som väntat överskreds på flera ställen. Det största riskområdet återfinns kring och nedströms bräddarna, vilket till viss del kan förklaras av ett bakfall strax efter Krokängsparkens bräddavlopp. Dock såg man att det fanns flera ställen i området där simuleringarna visade översvämningar. Resultaten finns redovisade i bilagorna H och I.

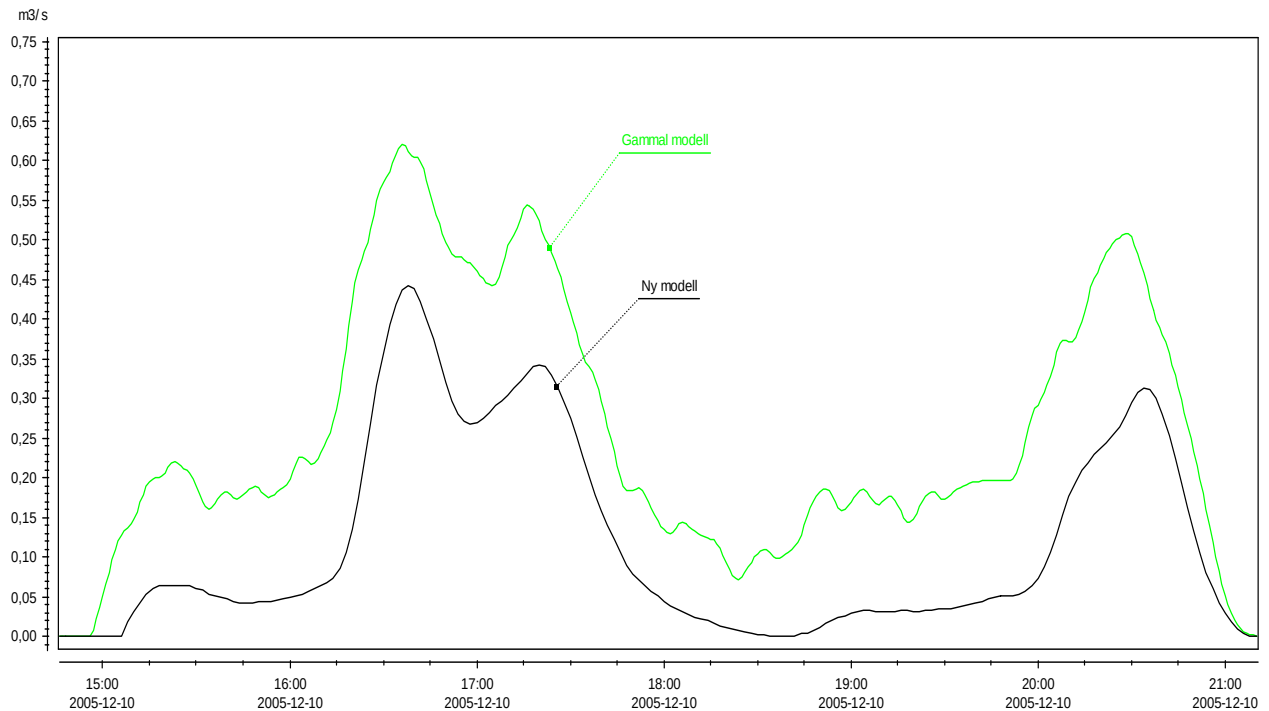
Simuleringar med blockregn för 10 års återkomsttid visar att systemets känslighet med avseende på överbelastningar är som störst för korta högintensiva regn. De största konsekvenserna sker med varaktigheten 20 minuter.

Kontrollsimuleringar gjordes även för 5 års återkomsttid. Detta genomfördes för att visa skillnaderna i översvämningensrisken. I simuleringen har ett 5-års regn gjorts med 20 minuters varaktighet. Som man ser i bilaga L1 är de noder där vattnet stiger över markytan betydligt färre jämfört med ett 10-års regn och därmed är översvämningensrisken mindre. Detta ses även i bilaga L2, som visar trycket över ledningshjässan. Dock ser man att vid en del noder kommer det ändå bli översvämningar, beroende på de normer som gällde då man byggde avloppssystemet.

I bilaga G1 finns en komplett förteckning över regnen som skedde under 2005 med samtliga regn uppsatta som blockregn med olika varaktigheter.

15.2 Jämförelse med va-verkets befintliga modell

En jämförelse med den nya detaljerade modellen och va-verkets äldre förenklade modell gjordes genom simulering över 2005, se exempel i figur 26. Den förenklade modellen bräddade cirka 340 000 m³ medan den detaljerade endast 200 000 m³ under 2005. En mer noggrann jämförelse gjordes för december månad för de regn som använts för kalibreringen där volymer och bräddförlöpp studerades.



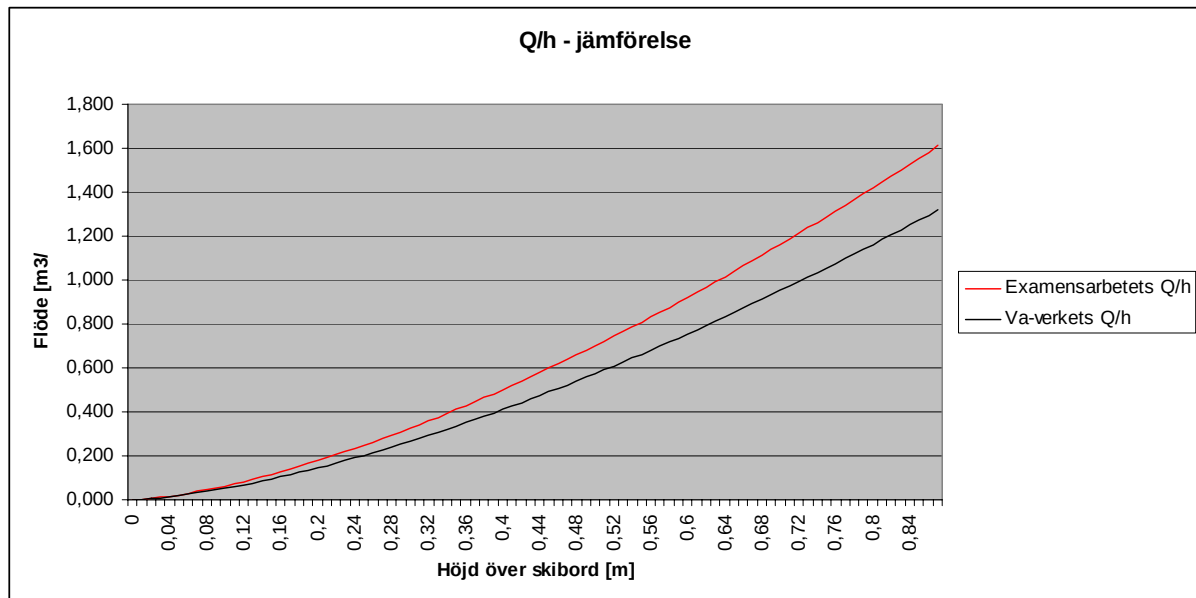
Figur 26: Bräddjämförelse mellan examensarbetets och va-verkets äldre modell över ett regntillfälle, 2005-12-10. Resterande jämförelsegrafer redovisas i bilagorna B1 - B4.

Bräddförloppet för de båda modellerna liknar varandra men va-verkets förenklade modell ger väsentligt högre bräddflöden. Det gjordes även en bräddjämförelse på samtliga regn som uppmättes under mättiden. Resultatet blev väsentligt högre flöden för samtliga beräknade bräddvolymmer som ses nedan i tabell 6:

Regntillfälle	Ny modell [m ³]	Gammal modell [m ³]	Differens [%]
2005-12-10	2740	5990	119%
2005-12-21	1270	2180	72%
2005-12-23	226	1130	400%
2005-12-30	310	2850	819%
2006-01-10	10840	20960	93%
Totalt	15386	33110	115%

Tabell 6: Volymjämförelser ny och gammal modell för de regn i december 2005 som använts i kalibreringen

Skillnaderna kan förklaras av flera orsaker. För det första är själva bräddavloppet beskrivet på olika sätt i modellerna. Hur bräddning sker definieras i MOUSE genom bräddavloppets geometri samt en avbördningskoefficient som resulterar i ett Q/h -samband för bräddavloppet.



Figur 27: Q/h-jämförelse för ny och gammal modell.

Enligt figur 27 är bräddavloppet i den äldre modellen definierat så att den ger mindre bräddflöde än den detaljerade modellen vid samma nivåer. Det betyder att den förenklade modellen istället borde ge mindre bräddvolym förutsatt att nivån i bräddbrunnen är densamma i båda modellerna då det direkt bestämmer bräddflödet.

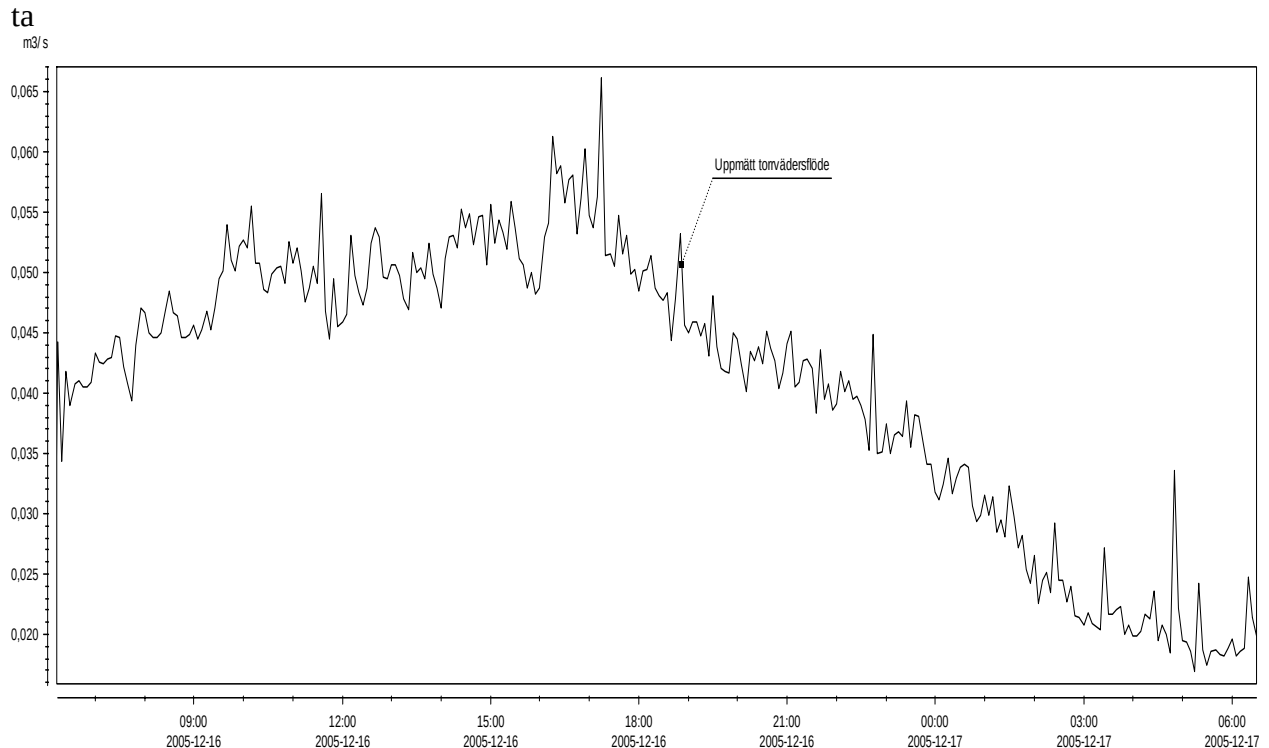
	va-verkets modell	Examensarbetets modell
Skibordsbredd [m]	2,2	1,2
Brunnsförlust	Sharp Edged	Mouse Classic Engelund
Hårdgjord yta [ha]	92,7	87
Skibordsplacering [grader]	0	90
Bräddbrunnsdiameter [m]	2	1
Inloppsnivå [m]	12,45	12,25

Tabell 7: Jämförelse av bräddformelindata för respektive modell

Förklaringen till skillnaden i bräddflöde ligger alltså inte i definitionen av brädden. En del av förklaringen ligger istället i skillnaden av de hårdgjorda ytorna. I kalibreringen av den nyare modellen minskades denna för att få en bättre överensstämmelse med verkligheten. Den äldre modellen har mer hårdgjord yta vilket ger något högre inkommande flöde.

En annan troligtvis avgörande faktor är hur energiförlusterna i brunnarna är definierade. Den äldre modellen använder sig av "MOUSE SHARP EDGED", vilket är en stor förlust, i alla brunnar medan den nyare modellen inte har några energiförluster förutom i några få brunnar. En högre energiförlust i bräddbrunnen påverkar vattennivån så att den höjs vilket ger större bräddning och mindre flöde till reningsverket. Resterande förklaring ligger sannolikt i detaljeringsgraden hos modellerna. I en detaljerad modell blir rinntiderna i ledningsnätet och på ytan annorlunda vilket resulterar i olika koncentrationstider för avrinningsområdet (se bilaga E1).

Skillnaden i spillvattenflöde kan till viss del härledas till samma förklaring som ovan, men en annan mycket påverkande faktor är hur flödet varierar över dygnet. I den äldre modellen används ett konstant medelflöde beräknat utifrån antal personer och förbrukningen per dygn. I verkligheten beror mängden bräddat spillvatten till stor del av tiden på dygnet. Under den mätperiod examensarbetet haft tillgång till varierade torrvädersflödet mellan 10-60 l/s, se figur 28. Dessa variationer kan vara ännu större över årstiderna. I bilaga J1 visas även under vilken tid på dygnet som regnen inträffade för att ytterligare öka förståelsen för skillnaden i spillvattenmängden i bräddflödet.



Figur 28: Uppmätta variationer i flöde under ett torrvädersdygn

På grund av dessa skillnader ger va-verkets modell väsentligt högre bräddflöden än den detaljerade modellen. Va-verkets modell är teoretiskt kalibrerad med hjälp av så kallade ballongkurvor, se bilaga K1. Enligt dessa kurvor skulle cirka 13 500 m³ spillvatten och 320 000 m³ dagvatten varje år med en 9200 PE, 92 ha hårdgjord yta och en utspädningsgrad på sju gånger. Denna metod förutsätter att utspädningsgraden, det vill säga förhållandet mellan spill- och dagvattenflödet är konstant under hela bräddtillfället.

	Gammal modell [m ³]	Ny modell [m ³]	Ballongkurvor [m ³]
Årlig bräddad dagvattenvolym	340 000	200 000	320 000
Årlig bräddad spillvattenvolym	28 000	10 170	13 500

Tabell 8: Årliga bräddvolymer för gammal och ny modell samt "ballongkurvor".

15.3 analys av styråtgärder

Resultatet av jämförelsen visar klart och tydligt att den äldre modellen ger väsentligt högre bräddflöden vid alla regn vilket leder överskattade årsvolymer för såväl spillvatten som dagvatten.

Resultaten baseras på helårssimuleringar gjorda med regnserien från 2005, taget från Barlastplatsen. Redovisade resultat innefattar årlig bräddvolym, bräddad föroreningsmängd, samt bräddfrekvens. Se tabell 9.

Åtgärd	Ledningsdim. [mm]	Skibordsnivåer	Total bräddvolym [m3]	Bräddat spillvatten [m3]
Innan åtgärd	Ø400	12.79	200 000	10 220
Styrt skibord (1A)	Ø500	12.68-13.30	127 950	5 290
Styrt skibord (1B)	Ø600+Ø800	12.68-13.30	88 970	3 400
Styrd lucka (2A)	Ø500	12.79	167 560	7 390
Styrd lucka (2B)	Ø600+Ø800	12.79	129 180	5 100
Styrd lucka (2A)	Ø500	13.00	154 630	6 270
Styrd lucka (2B)	Ø600+Ø800	13.00	121 510	4 330

Tabell 9: Sammanställning över åtgärdsförslag och deras resultat. Styrtiden för samtliga simuleringar är 100 minuter

Bäst resultat uppnås då styrning sker genom ett reglerbart skibord kombinerat med ökad ledningsdimension mot borrhålet. Minskningen av total bräddad volym uppgår till 55 % och minskad spillvattenvolym till 67 %. Föroreningsjämförelse har endast gjorts för denna åtgärd på grund av de långa simuleringstiderna, se tabell 10-11.

	Tot-N [kg]	PO4 [kg]	Cd [kg]	Cu [kg]	Zn [kg]
Före	480	71.5	0.37	0.83	0.00225
Efter	160	23.8	0.12	0.28	0.00075

Tabell 10: Total bräddad mängd förorening från spillvatten, före och efter Åtgärd 1B

	Tot-N [kg]	PO4 [kg]	Zn [kg]	Cd [kg]	Cu [kg]	BOD [kg]	TSS [kg]
Före	341	18.9	24.7	1 423	0.09	5.7	18 980
Efter	154	8.6	11.1	642	0.04	2.5	8 560

Tabell 11: Total bräddad mängd förorening från dagvatten, före och efter åtgärd 1B

Eftersom inga variationer sker i föroreningskoncentrationerna över tiden i simuleringarna så blir den procentuella förbättringen densamma för alla föroreningar.

15.3.2 Rekommendationer

I följande kapitel ges ett resonemang över de olika åtgärdsförslagen och slutligen en rekommendation. Alla åtgärder förutsätter en ökning av kapaciteten till borrhålet genom dimensionsökning och detta lämnas därför utanför. Inga kostnader har beaktats då kunskapen och tiden för detta är otillräcklig.

Åtgärdsförslag 1B ger enligt tabell 10 den största minskningen i årlig bräddvolym och därmed minskad föroreningsbelastning. Nackdelen är att det är svårt att uppnå ett bräddflöde motsvarande nuvarande situation efter styrning med dagens bräddutformning. Styrning genom skibord har tidigare använts i stor utsträckning med gott resultat i Stockholm, projekt Ormen, se tidigare i rapporten.

Åtgärdsförslag 2 ger större årsvolym än åtgärdsförslag 1B. Om åtgärdsförslag 2 kombineras med en större skibordshöjning än i gjorda simuleringar, vilket dock innebär större risk för överbelastning, kan årsvolymer minskas väsentligt. Den ökade risken kan dock minskas eller elimineras genom att öka avbördningen över skibordet genom ombyggnad, till exempel skulle man kunna använda sig av ett dubbelsidigt överfall.

Idag finns en lucka i Krokängsparkens bräddavlopp som eventuellt skulle kunna användas för styrning beroende på befintligt skick vilket inte kan bedömas i detta examensarbete. Vid en ökning av ledningsdimensionen kan det dock bli nödvändigt att byta ut den till större storlek. Va-verket har sedan tidigare erfarenhet av styrning genom reglerbara luckor vilket underlättar genomförandet.

Med detta som bakgrund har åtgärdsförslag 1B valts. Valet motiveras av kraftigt minskade årsvolymer utan ökad risk för överbelastning i ledningssystemet. En annan påverkande faktor är det faktum att va-verket tidigare inte har använt sig av styrning med hjälp av reglerbara skibord och att detta är ett bra tillfälle att göra det. Kvalitetsstyrning av avloppsvatten kommer sannolikt inom en nära framtid bli mer utbrett, vilket klart uttrycks i Vattenplanen för Göteborg, och kunskap om olika metoder är att föredra. Om flödet efter styrning inte får överstiga nuvarande kan det vara aktuellt med en ombyggnad av brädden eller att strypa flödet till reningsverket med en reglerbar lucka.

Som övrig åtgärd rekommenderas att en skumskärm installeras i bräddavloppet. Detta är en enkel och effektiv åtgärd avskiljning av flytande material som till exempel blöjor och toalettpapper från bräddvattnet är en skumskärm som förhindrar flytande material att bräddas [2].

15.4 Slutsatser

Va-verkets nuvarande metoder för att bestämma egenskaper för ett bräddavlopp fungerar tillfredsställande. Vid jämförelse uppgick maximal differens till 5 % vilket klart ligger inom felmarginalen.

Krokängsparkens avrinningsområde är enligt utredning hårt belastat ur ett överbelastningsperspektiv. I den gjorda utredningen har inga mätningar gjorts ute i ledningssystemet som kan bekräfta att simulerade nivåer stämmer. Resultatet kan därför inte beaktas som helt säkert. För detta behövs nivåmätningar i systemet.

Som styrningsförslag rekommenderas ett reglerbart skibord kombinerat med ökad ledningsdimension mot reningsverket. Detta alternativ ger ett bra resultat med avseende på minskad årlig bräddvolym utan att öka risken för överbelastning.

15.4.1 Fortsatt utredning

Sedan tidigare fanns misstanke om att borrhålets kapacitet var otillräcklig. Inget i mätningarna tyder dock på detta. Förklaringen kan vara att endast ett kraftigt regn registrerades under mätperioden. Enligt va-verket har borrhålet en kapacitet på 270 l/s.

Maxflödet under mätperioden uppgick till cirka 375 l/s utan tecken på dämning mot borrhålet. Vid en okulär besiktning av en brunn mellan brädden och borrhålet vid examensarbetets start registrerades organiskt material högt upp i brunnen vilket tyder på att dämning inträffat. Inga åtgärder bör således genomföras innan borrhålets kapacitet är ordentligt utredd.

Då flödet i Ø400-ledningen mot borrhålet ökar får vattnet från den tillkommande Ø600-ledningen svårare att tränga i den gemensamma ledningen eftersom hastigheten och flödet är väsentligt mycket lägre. Denna effekt kommer att bli större vid en ökning av ledningsdimensionen. Risker för översvämning bedöms dock som liten då Ø600-ledningen endast transporterar spillvatten.

Detta examensarbete har till vissa delar byggts på antaganden såsom First Flush-förfarandet, ökat inläckage efter regn, föroreningshalter och sedimenttransport i ledningarna. Alla dessa är viktiga i en utförlig modell för att få ett exaktare resultat på till exempel årsserier och föroreningsutsläpp till recipienten.

När det gäller First Flush så är fältmätningar en viktig del för att få en klarare bild av hur föroreningskurvan ser ut för en effektivare kvalitetsstyrning av avloppsvattnet. Detta hänger även ihop med hur sedimenttransporten ser ut i ledningsnätet. En fortsatt utredning på dessa områden är därför önskvärda för en mer exakt modell i framtiden.

Som tidigare redovisats i rapporten skiljer sig den framtagna modellen väsentligt från va-verkets tidigare modell. En kontroll borde genomföras på någon av resterande modeller för att se om detta är en engångsföreteelse eller ett genomgående fenomen. Att rapportera årliga bräddvolym till Länsstyrelsen baserat på simulering ter sig annars ganska osäkert.

Till sist kan det sägas att en avvägning borde göras ur en samhällsekonomisk synvinkel för att se över kostnads/nytta-effekten av föreslagna åtgärder. Tanken att kvalitetsstyra samtliga bräddar är i sig lovvärt men i dagens läge orimligt, varefter en rangordning bör göras för att se över och förbättra de största bräddavloppen i Göteborg.

16 Diskussion

Tidigare i rapporten beskrevs det att i vattenplanen för Göteborg finns det ett uttalat mål om att Göta Älv ska bli ett badbart vattendrag. Krokängsparkens bräddavlopp ligger uppströms och utsläppen i denna punkt påverkar möjligheten till denna av politikerna satta målet. Vid fallet med begränsad mottagarkapacitet hos Ryaverket skulle en överblastning av reningsverket innebära bräddning hos reningsverket. Bräddningen sker då ute vid Rya Nabbe och påverkar inte badförhållandena uppströms. Med Vattenplanens mål om en badbar älv i beaktande är den bräddning som sker ute vid Rya ett bättre alternativ än om den sker inne i hamnen.

Som tidigare nämnts ökar en kvalitetsstyrning också risken för att föroreningshalterna i slammet överstiger Naturvårdsverkets gränsvärden, vilket kan förhindra att viktiga ämnen återförs till kretsloppet. Huruvida vilken av dessa två aspekter som faller avgörandet om en kvalitetsstyrning skall ske eller inte, måste avgöras i varje enskilt fall. Den optimala lösningen på problemet torde vara att utsläppen minskas samtidigt som reningsmetoderna för bland annat tungmetaller förbättras, så att slammet ändå kan användas i exempelvis jordbruket. För tillfället pågår forskning kring hur man exempelvis kan använda sig av membranteknik i avloppsreningsanläggningar för att åstadkomma bättre rening.

För att uppfylla miljömålen krävs att utsläppen till recipienterna minskas. Det kan ske genom att system byggs om eller kvalitetsstyrts. Viktigt är att förstå att åtgärder på enskilda platser inte är tillräckliga utan måste kombineras med andra nedströms och uppströms. För maximal utnyttjande av lednings- och tunnelsystemet kan sensorer på olika ställen kommunicera med en centraldator som sedan skickar styrdirektiv till styranordningarna.

För att kunna styra First Flush på ett bra sätt fordras kunskap om avloppsvattnets kvalitet i den enskilda bräddpunkten. Detta kan ske på två sätt. Med hjälp av kvalitetsmätningar kan förloppet simuleras i en modell som sedan finns med i själva styrningen som då bygger på prognostisering av föroreningskoncentrationerna beroende på uppehållstid, intensitet och varaktighet. Ett alternativ är att styrningen baseras på kontinuerliga kvalitetsmätningar av avloppsvattnet där styrning sker så länge koncentrationen överstiger ett i förhand bestämt värde. Den sistnämnda metoden är komplicerad och kostsam, men ger ett bra resultat.

Frågan om bräddning ska ske inne i hamnen eller ute vid RYA kan diskuteras. Om målet med en badbar älv ska bli verklighet är ett av stegen på vägen att brädda längre ut. Samtidigt är GRYAAB negativa till att ta emot mer vatten.

17 Referenser

17.1 Litteratur

- [1] Bergh, Fredrik, civilingenjör, Göteborgs va-verk
- [2] Hogland William, et. al., *Bräddavlopp – Funktionsanalys, sanering och dimensionering av bräddavlopp*, Statens råd för byggnadsforskning: svensk byggtjänst, Stockholm 1986
- [3] Vattenplan för Göteborg, *Vatten såklart*, 2002
- [4] Ahlman, Stefan, *SEWSYS – ett modelleringsverktyg för transport- och reningsprocesser i avloppssystem utvecklat i MATLAB – Simulink*, Examensarbete, Institutionen för Vatten Miljö Transport, Chalmers Tekniska Högskola.
- [5] Miljörapport Göteborgs va-verk, *Miljörapport för avloppsanläggningar anslutna till Ryaverket*, Göteborgs va-verk 2004
- [6] Naturvårdsverket, www.naturvardsverket.se
- [7] Brundtlandkommissionen, *Vår gemensamma framtid*, Förenta Nationernas miljö- och utvecklingskommission 1987
- [8] Sveriges nationella miljömål, www.miljomal.se
- [9] Miljöförvaltningen Göteborg, www.miljo.goteborg.se
- [10] Göteborgs va-verk, *Åtgärdsplan Avlopp*, 1995
- [11] Bjurhall Rebecka, *EU:s miljölagsstiftning i Sverige – en fallstudie av avloppsdirektivet*, North Sweden Office 2004
- [12] Ingen övergödning, Underlagsrapport för fördjupad utvärdering av miljömålsarbetet, Naturvårdsverkets Rapport 5319, 2003
- [13] Svenskt Vatten, www.svensktvatten.se
- [14] Chalmers Tekniska Högskola, *VA-ledningsteknik Kompendium*, Institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik, Göteborg 1995
- [15] History learning site, www.historylearningsite.co.uk
- [16] Systembeskrivningsdatabas, Göteborgs va-verk
- [17] Butler David, Davies W John, *Urban drainage*, Department of civil engineering, Imperial College London. School of the built Environment, Coventry university

- [18] Johansen Camilla, Malmäng Åsa, *Bräddningsberäkningar med Mouse för Majornas avrinningsområde*, Institutionen för Vatten miljö Transport, Chalmers Tekniska Högskola Göteborg 2003
- [19] Nilsdal J-A, *Bräddavloppets kvalitet och volymer*, Delrapport Göteborg, Projekteringsavdelningen Göteborgs va-verk 1990
- [20] Lyngfelt Sven, *Styrning av flöden i avloppssystem begrepp – funktion – FoU- Behov*, , Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 1989
- [21] Moffa Peter E., *Control and treatment of combined sewer overflows*, Van Nostrand Reinhold, USA 1997
- [22] Karlsson Dick, Fjällström Eva, *Kvalitetsstyrning av avloppsvatten exemplifierat på Kodammarnas pumpstation*, Institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 1995
- [23] Länsstyrelsen Västra Götaland, www.o.lst.se
- [24] Göta Älvs Vattenvårdsförbund, *Vattenmagazinet – tillståndet i Göta Älv med biflöden 2003-2004*
- [25] Göta Älvs Vattenvårdsförbund, *Mikrobiologisk undersökning av Göta Älv – 2003-2004*
- [26] Göteborgs stad, www.goteborg.se
- [27] Escaler I, Gil A, R Guasch, Verdejo, *CSO detention tanks in Barcelona: Real time control design and operation*, 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen Denmark 2005
- [28] Stockholm Vatten, www.stockholmvatten.se
- [29] GRYAAB, www.gryaab.se
- [30] Olle Ljunggren, Civilingenjör, Göteborgs va-verk
- [31] Häggström Steffen, *Hydraulik för V-teknologer*, Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 1999
- [32] DHI, www.dhi.se
- [33] Urbonas Ben/ Stahre Peter, *Stormwater best management practices and detention for water quality drainage and CSO management*, Englewood Cliffs, New Jersey 1993

17.2 Övrig Litteratur

Statens Naturvårdsverks författningssamling 1990:14, *Miljöskydd*, ISSN 0347-5301

Miljöpolicy Göteborgs stad, *På väg mot en bättre miljö*, 1999

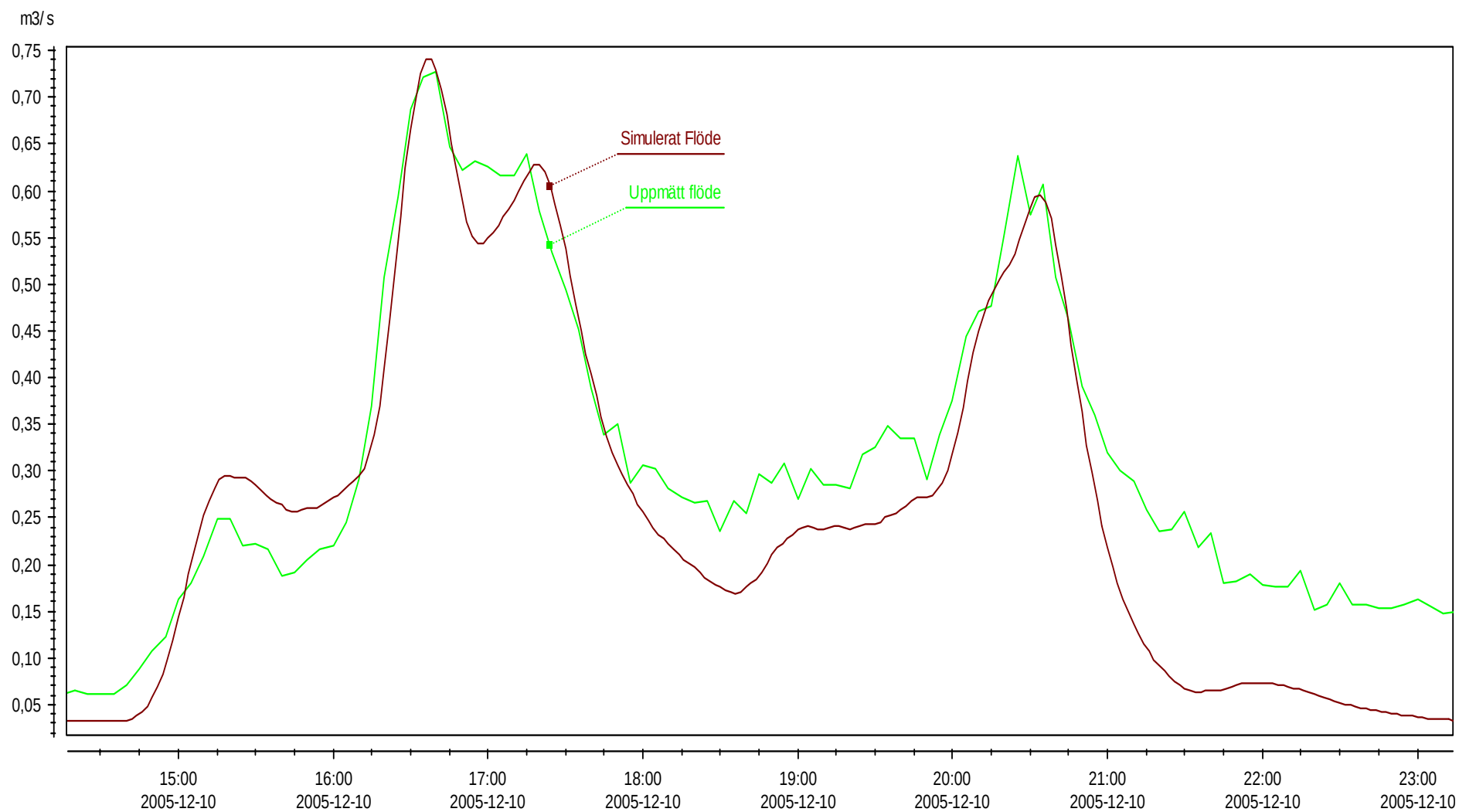
Stahre Peter, *Flödesutjämning i avloppsnät*, Statens råd för byggnadsforskning, Svensk byggtjänst, Stockholm 1981

18 Bilagor

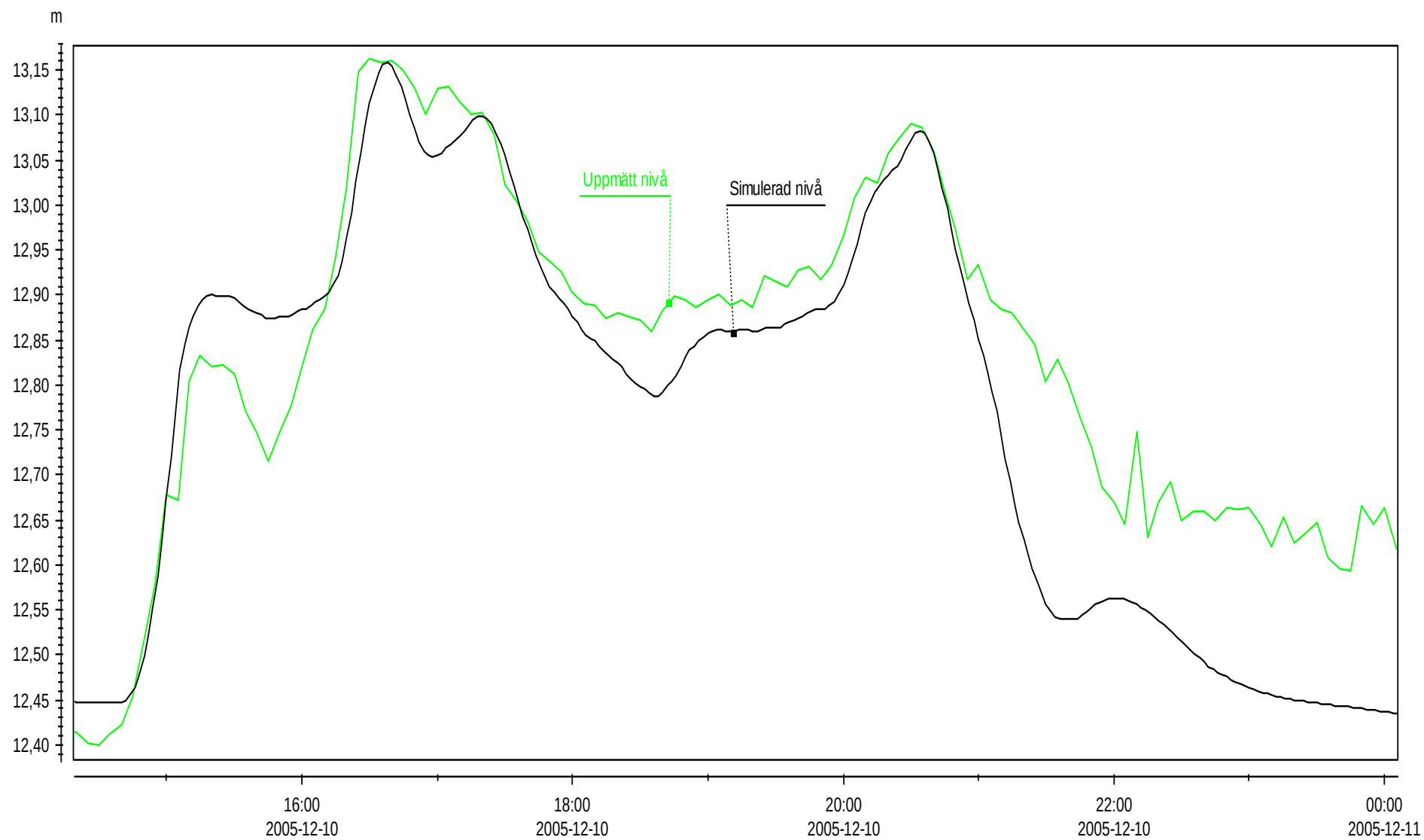
- A. Kalibreringsgrafer
- B. Jämförelse av bräddflöden – ny och gammal modell
- C. Bräddflöden för olika ledningsdimensioner
- D. Bräddflöden för styråtgärder
- E. Jämförelse av koncentrationstider – ny och gammal modell
- F. Uppmätt torrvädersflöde
- G. Regndata för 2005
- H. Överbelastning, nivåer över markytan för återkomsttider 10 år
- I. Överbelastning, nivåer över ledningshjässa för återkomsttider 10 år
- J. Regntid fördelat över dygnet 2005
- K. Ballongkurvor
- L. Överbelastning, nivåer över markytan för återkomsttider 5 år

Bilaga A1

Inkommande flöde efter kalibrering, 2005-12-10

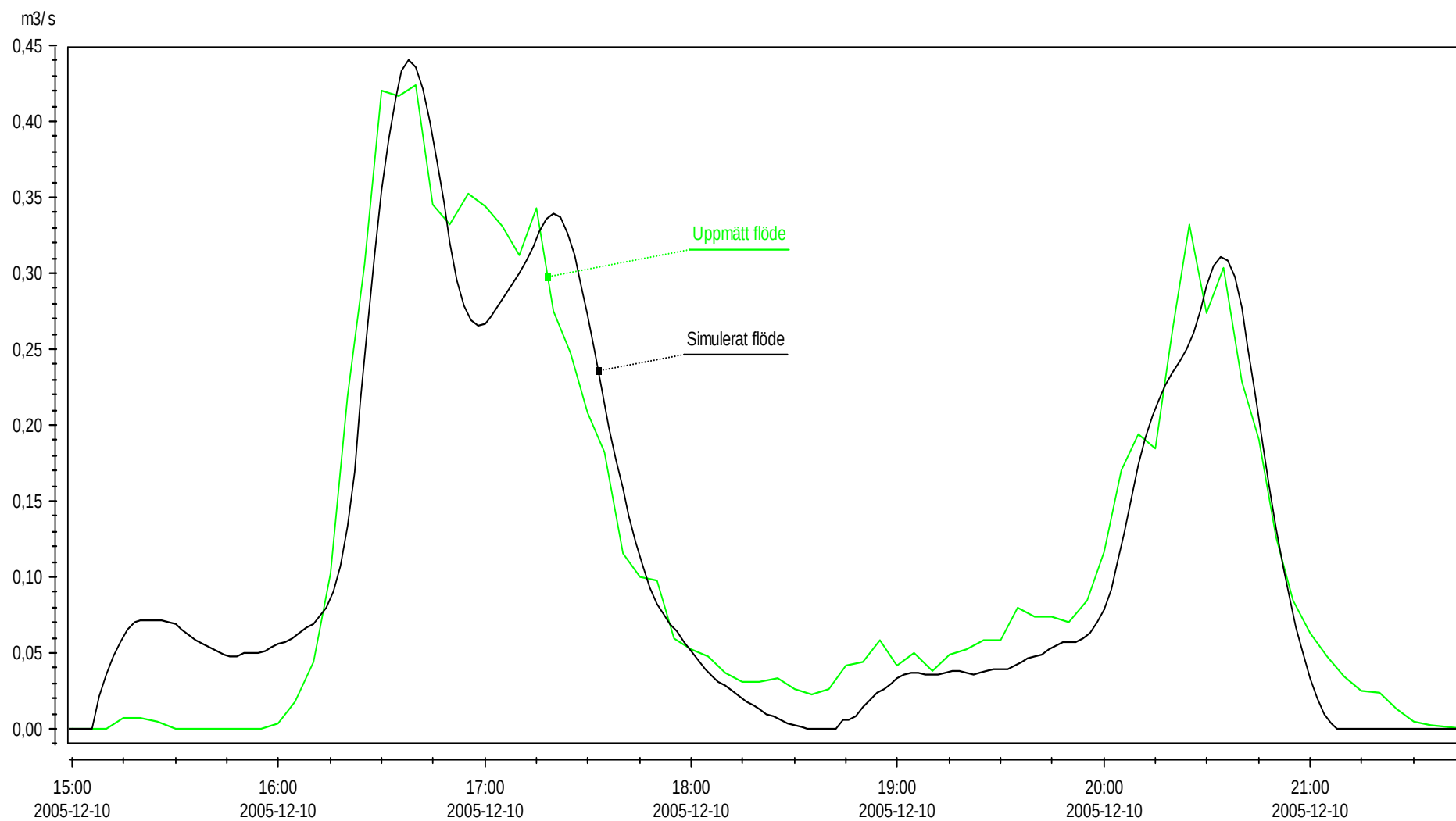


Bilaga A2
Bräddbrunnnsnivå efter kalibrering, 2005-12-10



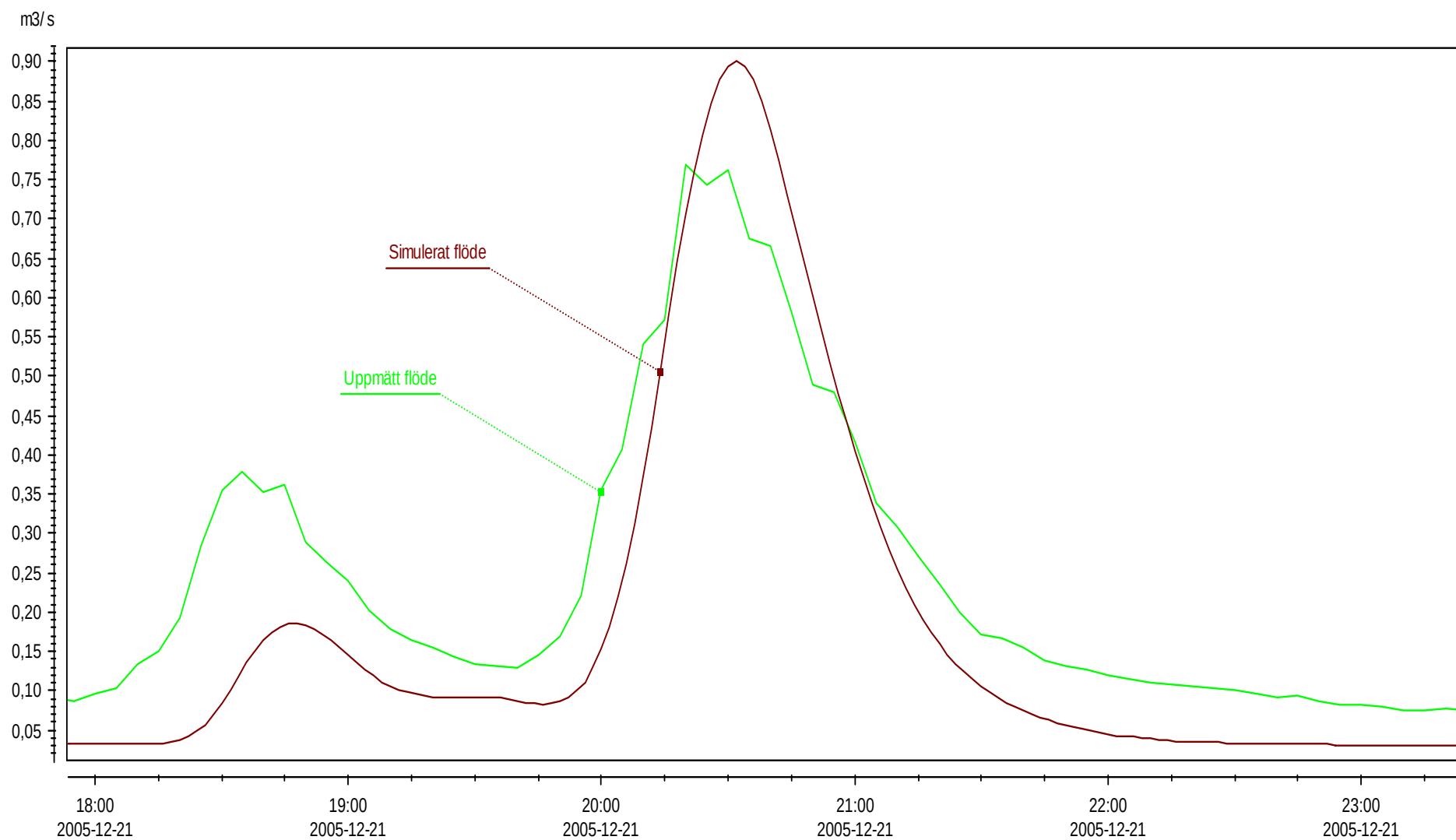
Bilaga A3

Bräddflöde efter kalibrering, 2005-12-10



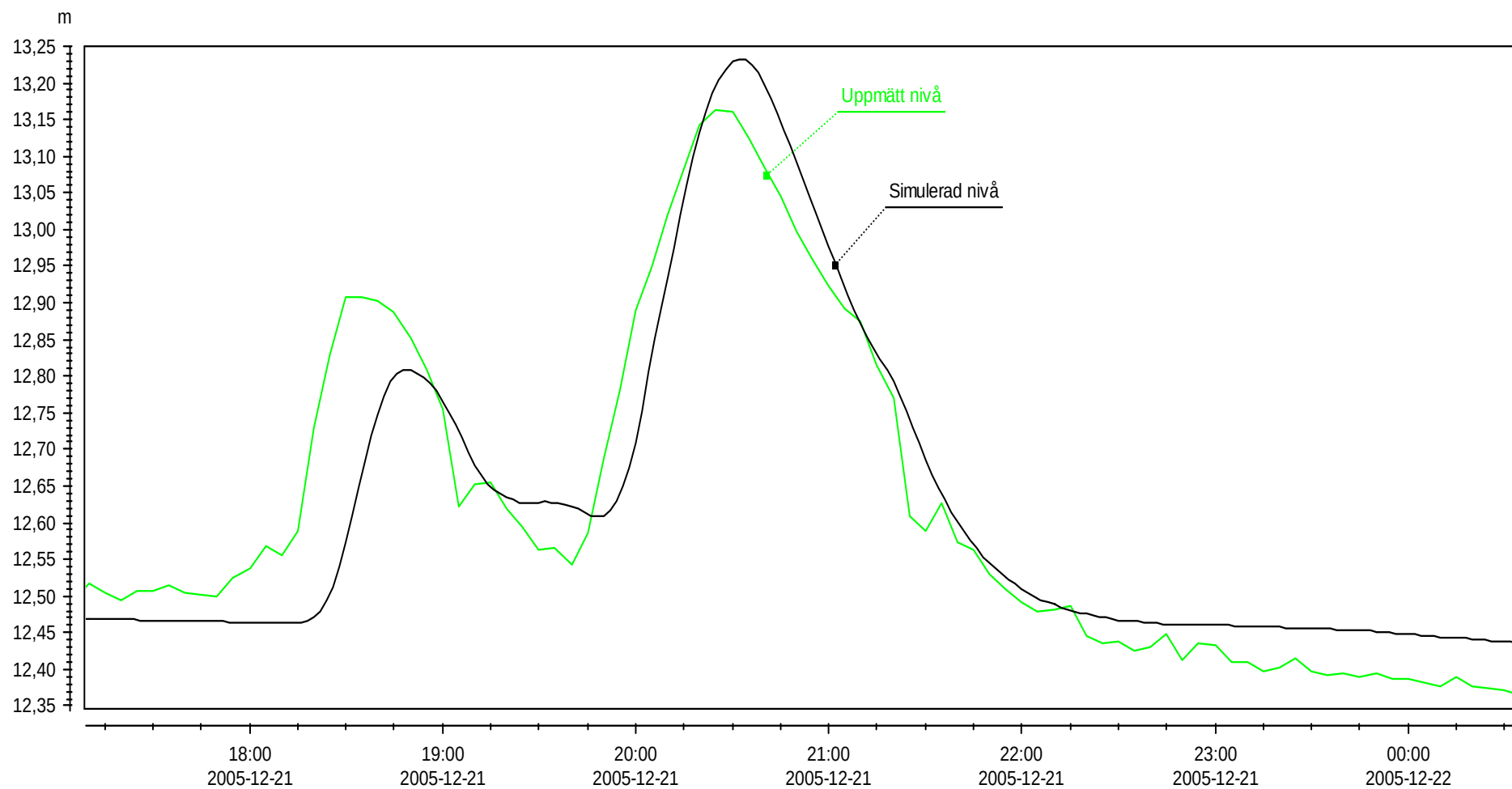
Bilaga A4

Inkommande flöde efter kalibrering, 2005-12-21



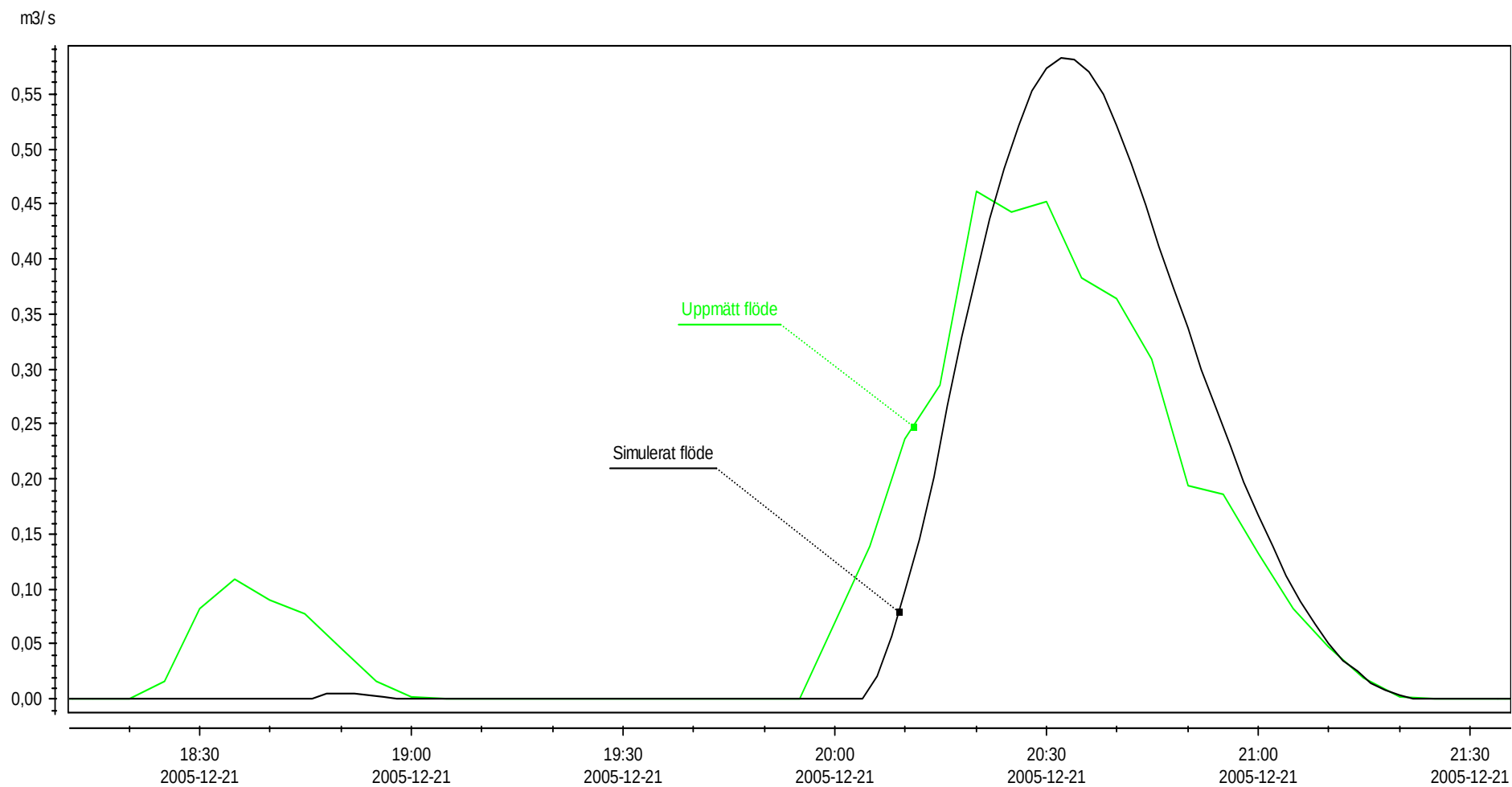
Bilaga A5

Bräddbrunnnsnivå efter kalibrering, 2005-12-21

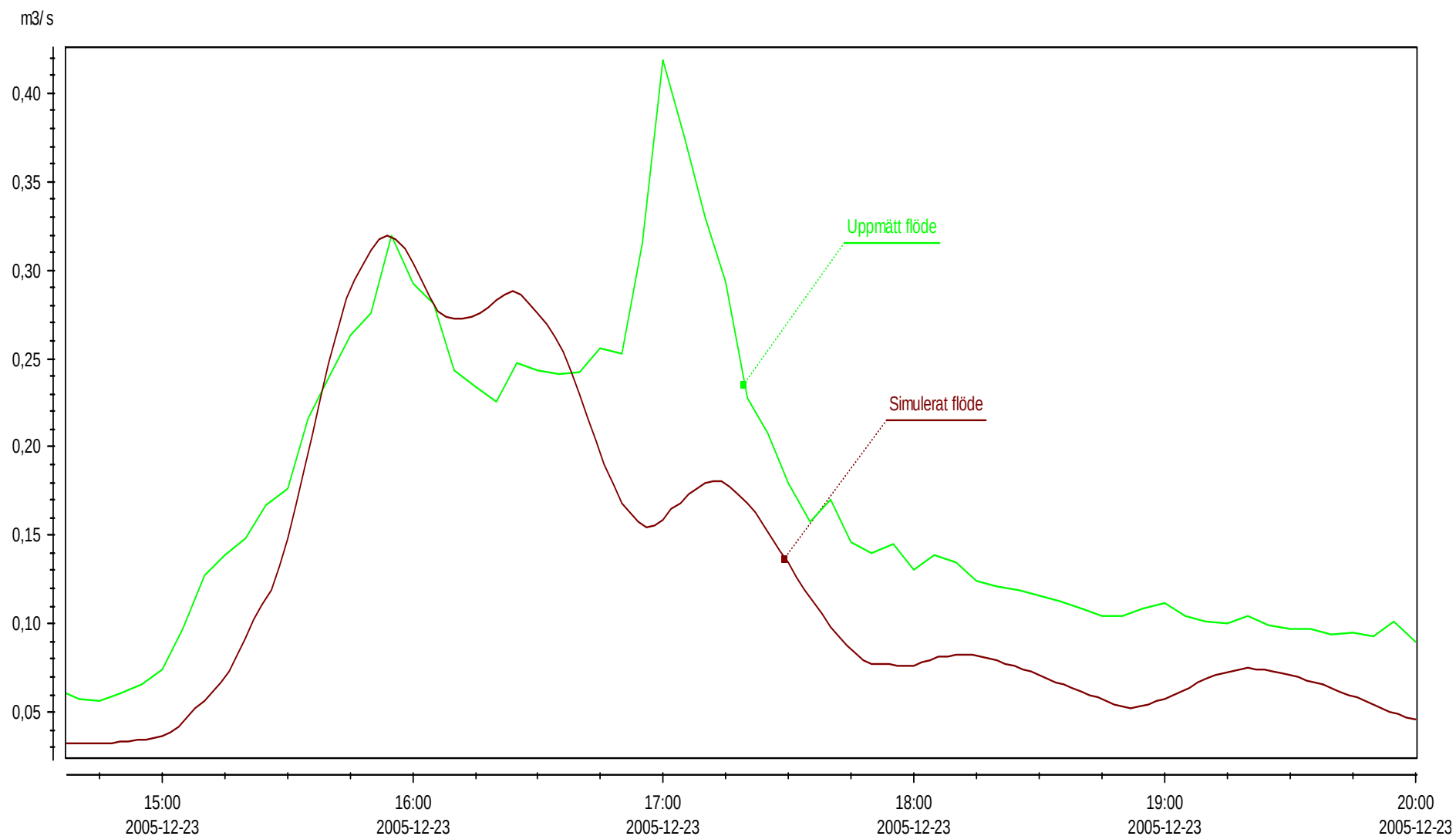


Bilaga A6

Bräddflöde efter kalibrering, 2005-12-21

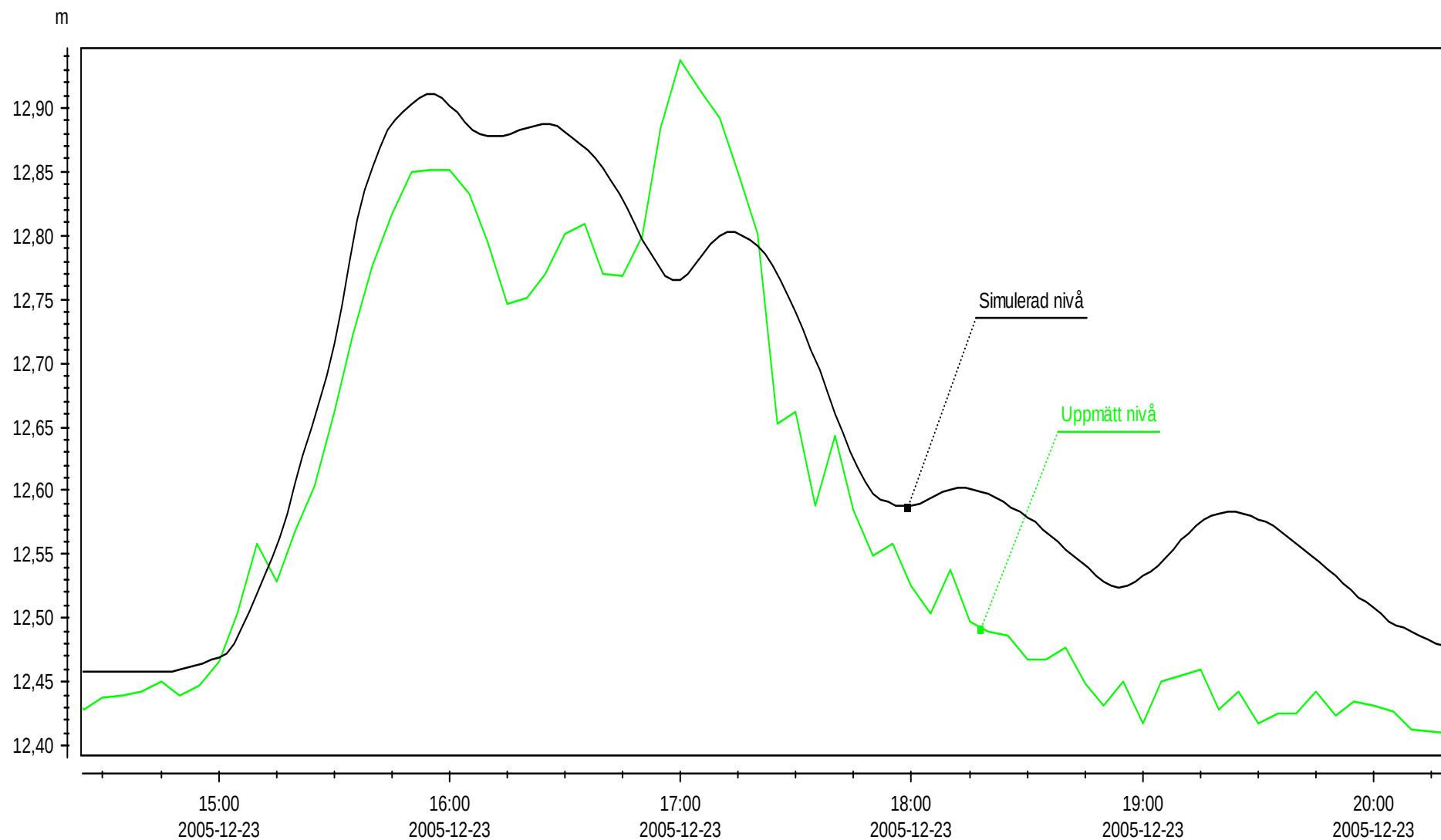


Bilaga A7
Inkommande flöde efter kalibrering, 2005-12-23



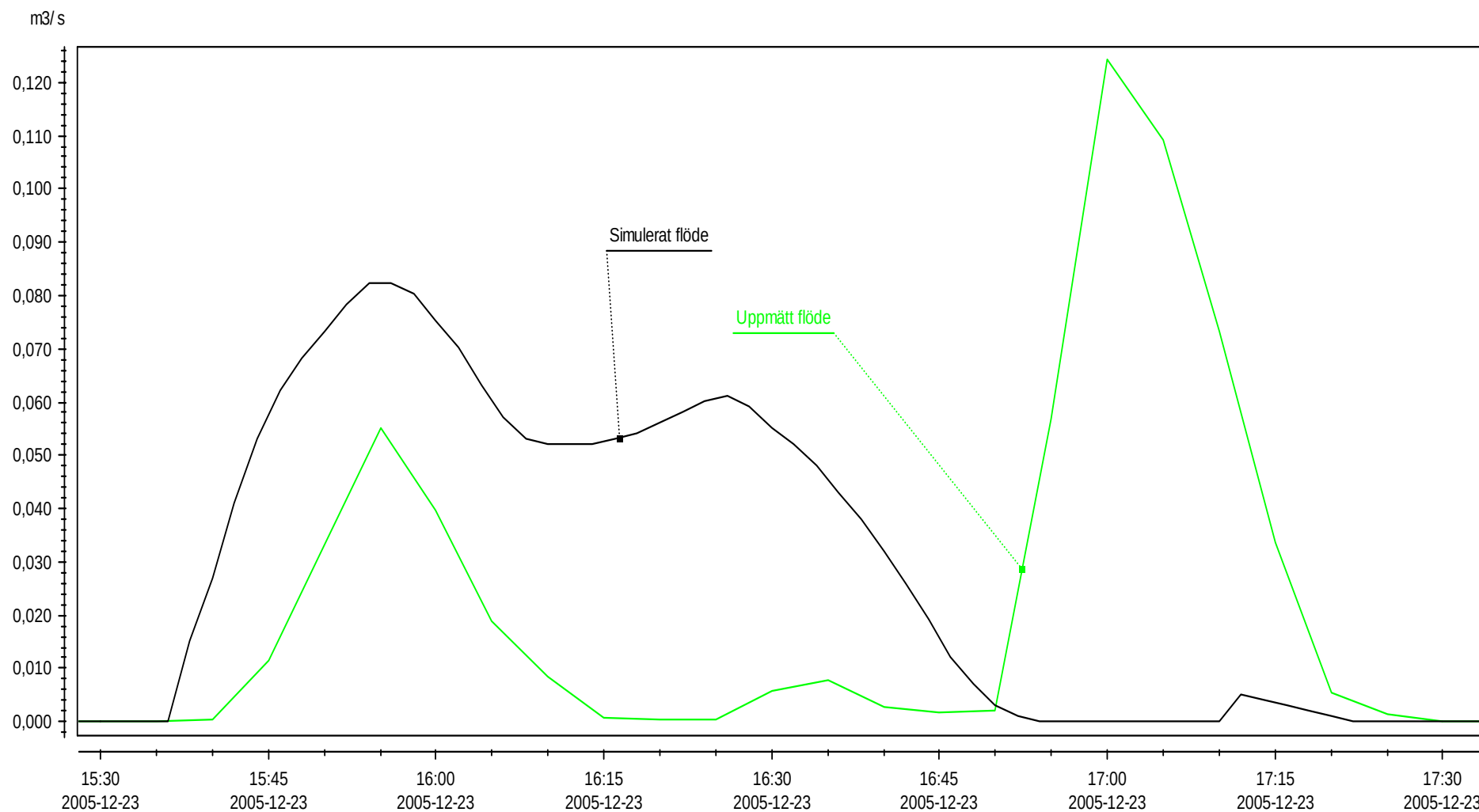
Bilaga A8

Bräddbrunnnsnivå efter kalibrering, 2005-12-23



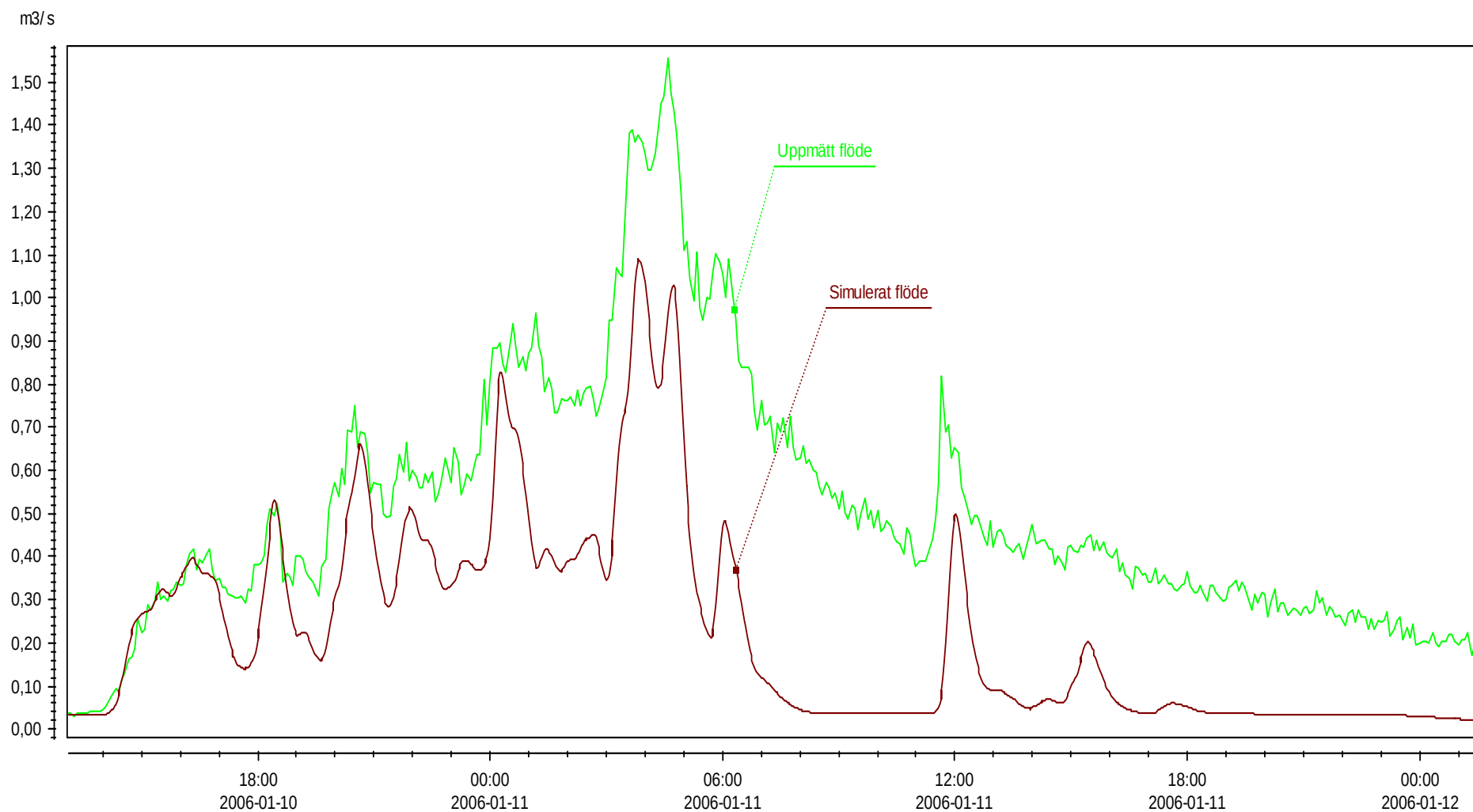
Bilaga A9

Bräddflöde efter kalibrering, 2005-12-23



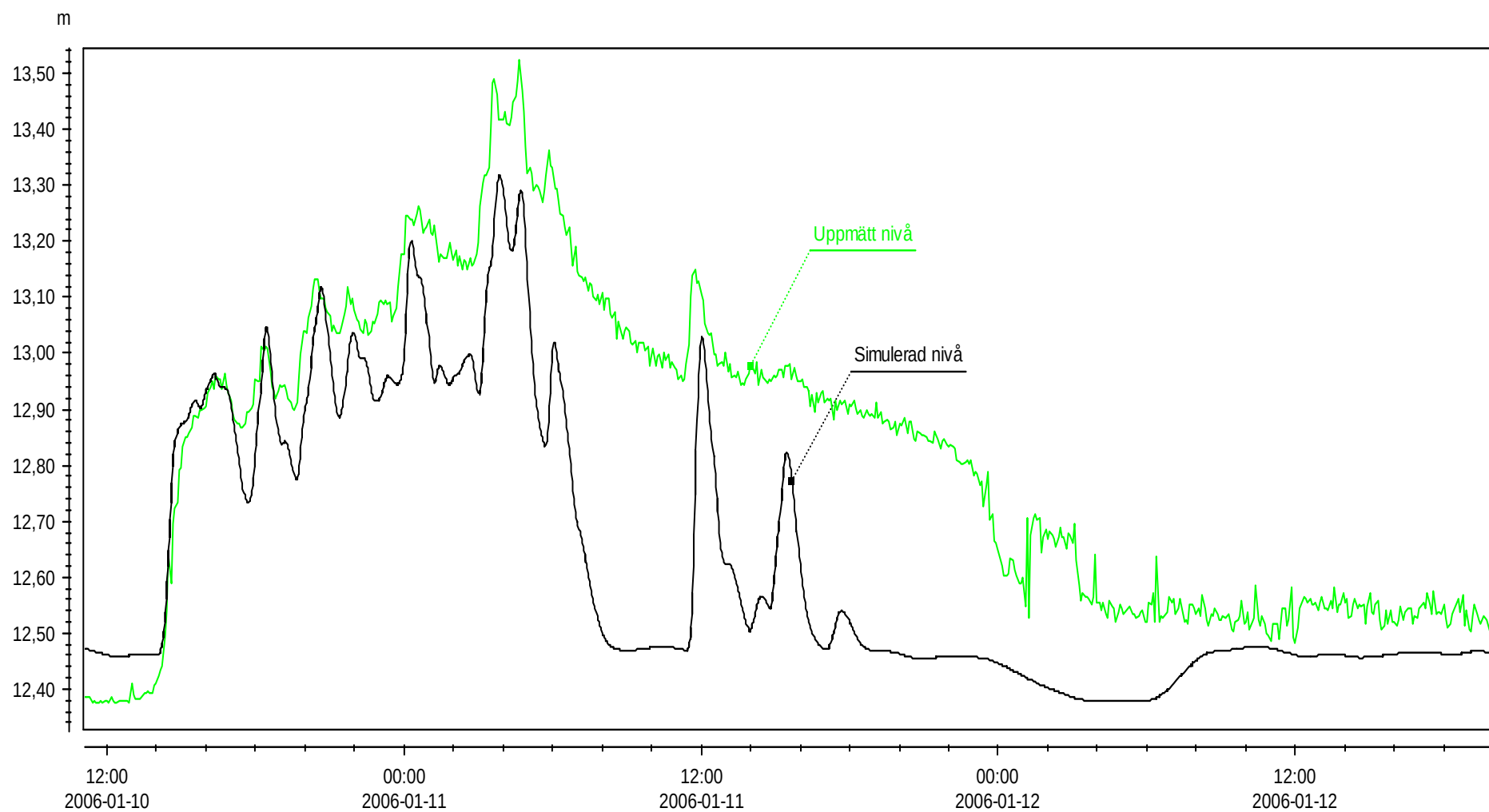
Bilaga A10

Inkommande flöde verifisering, 2006-01-10 – 2006-01-11



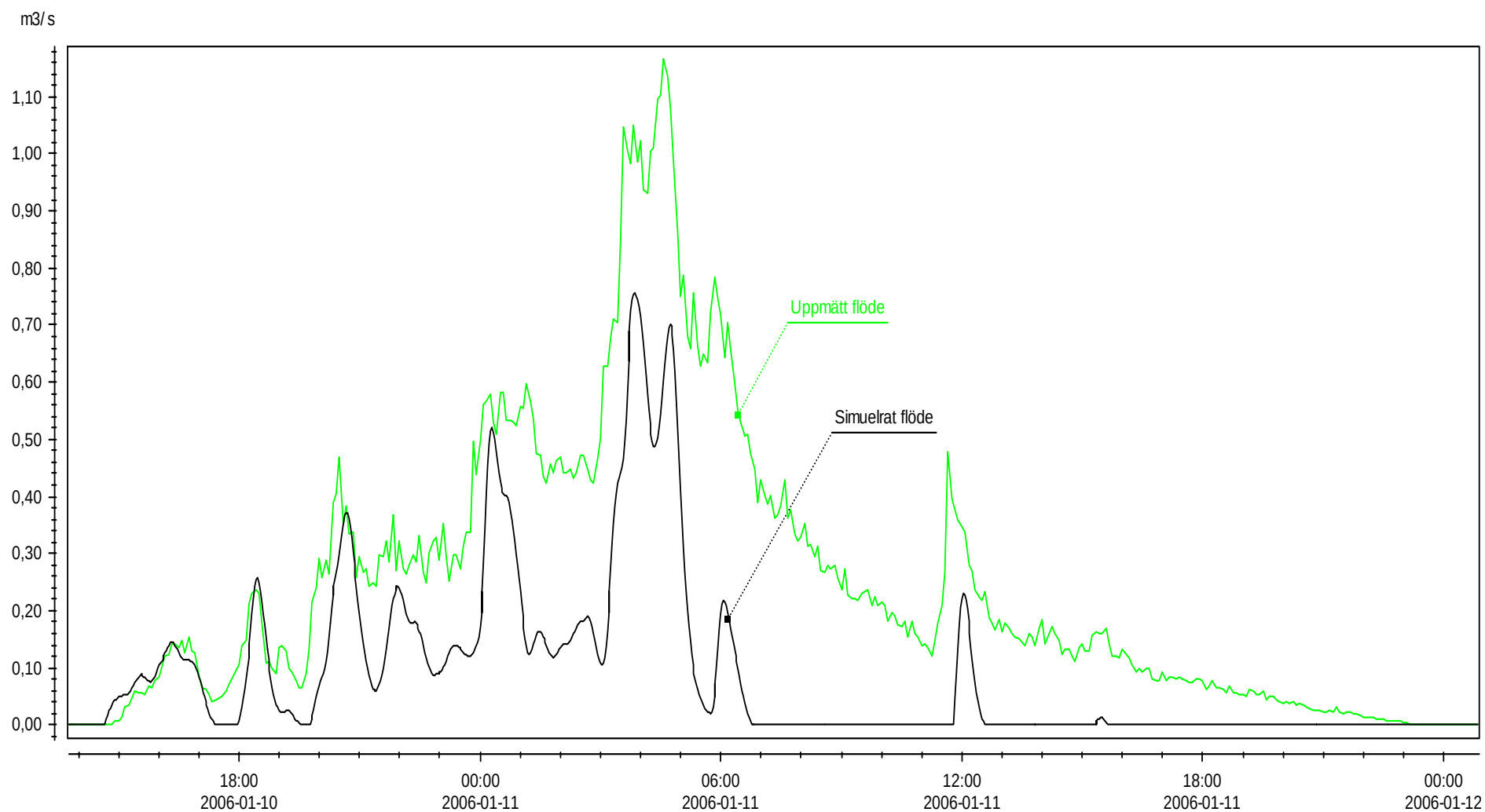
Bilaga A11

Bräddbrunnnsnivå verifiering, 2006-01-10 – 2006-01-11



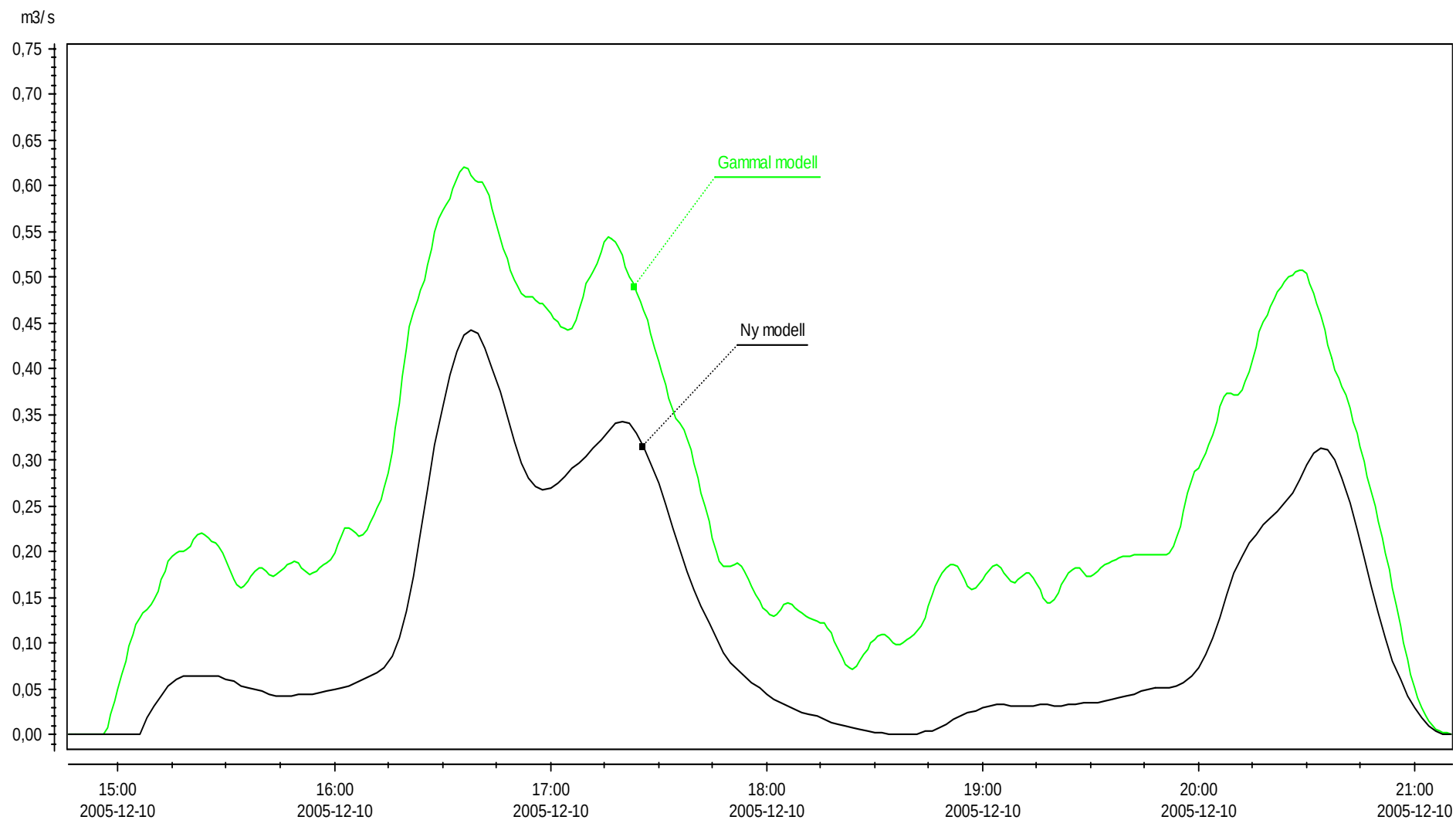
Bilaga A12

Bräddflöde verifisering, 2006-01-10 – 2006-01-11



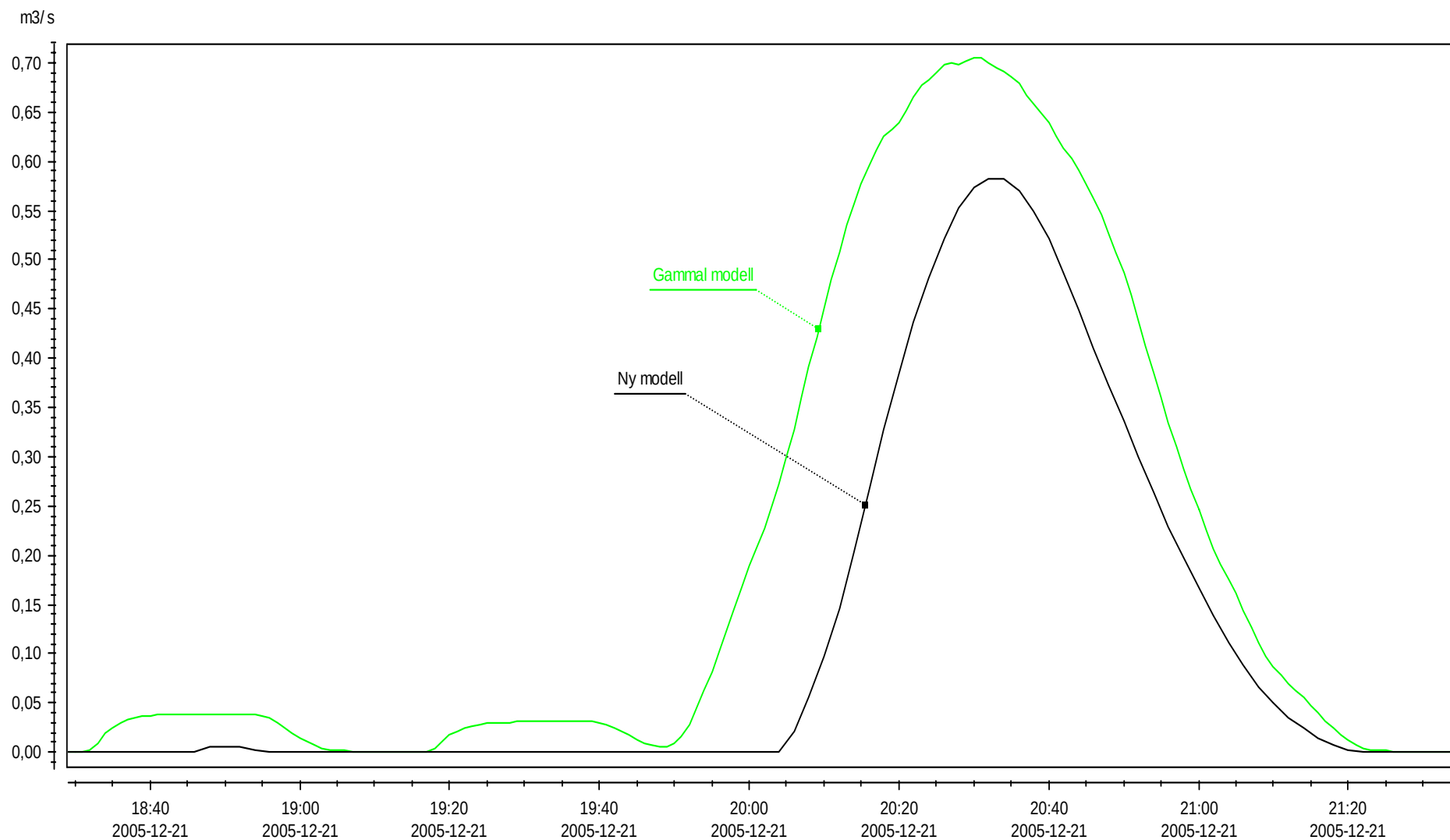
Bilaga B1

Bräddflödesjämförelse mellan VA-verkets modell och examensarbetets modell, 2005-12-10



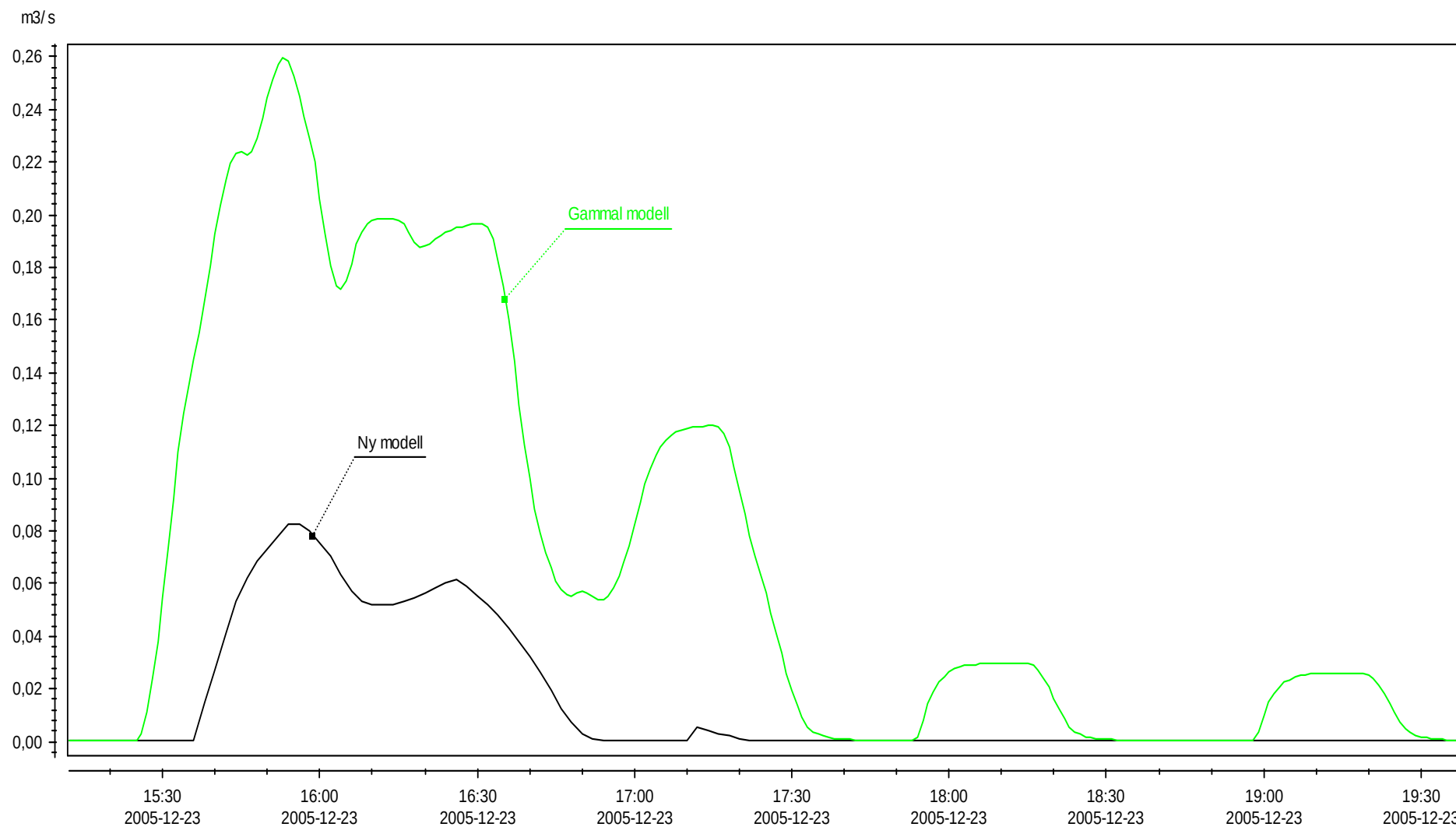
Bilaga B2

Bräddflödesjämförelse mellan Va-verkets modell och examensarbetets modell, 2005-12-21



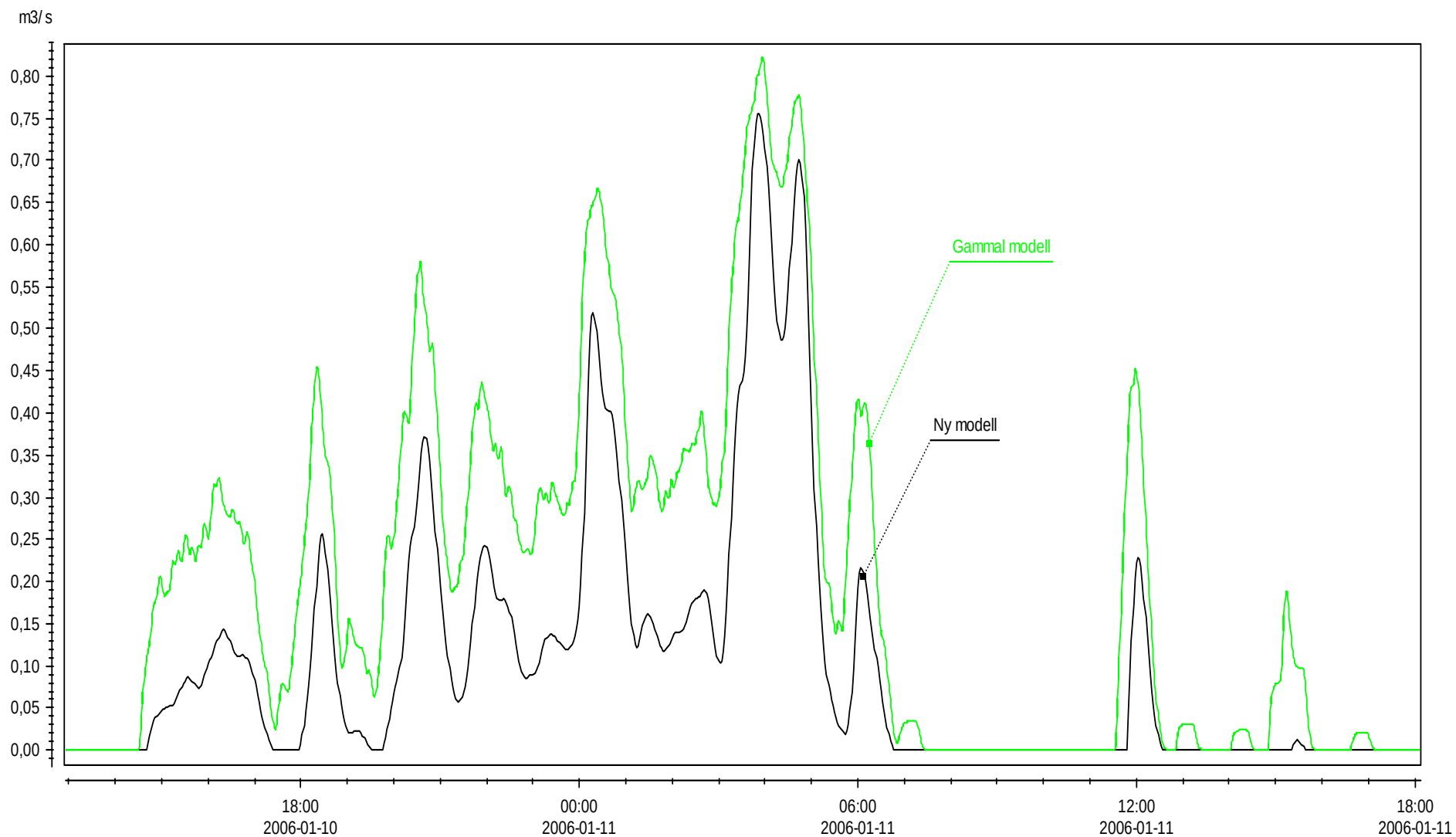
Bilaga B3

Bräddflödesjämförelse mellan Va-verkets modell och examensarbetets modell, 2005-12-23



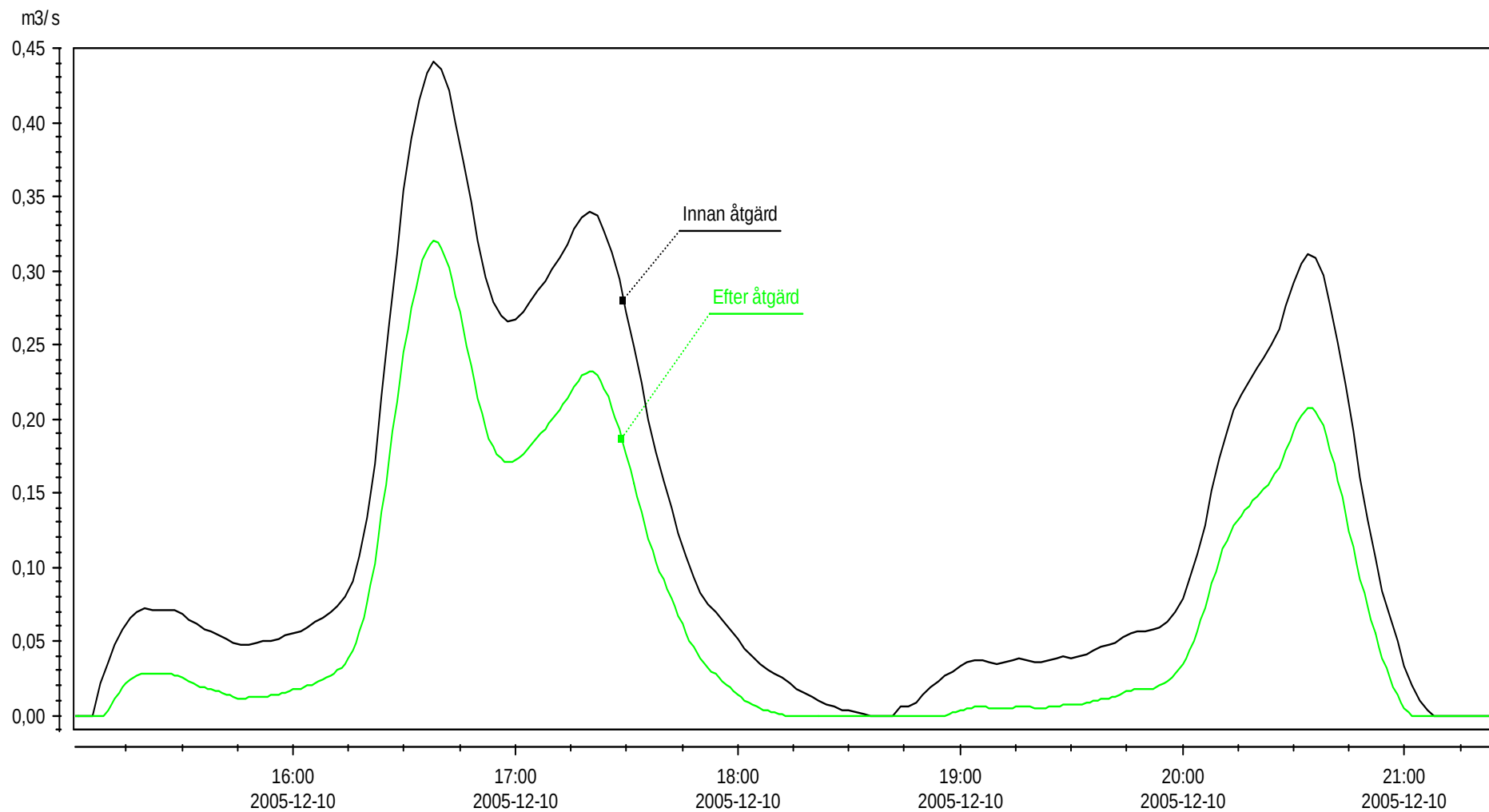
Bilaga B4

Bräddflödesjämförelse mellan VA-verkets modell och examensarbetets modell, 2006-01-10



Bilaga C1

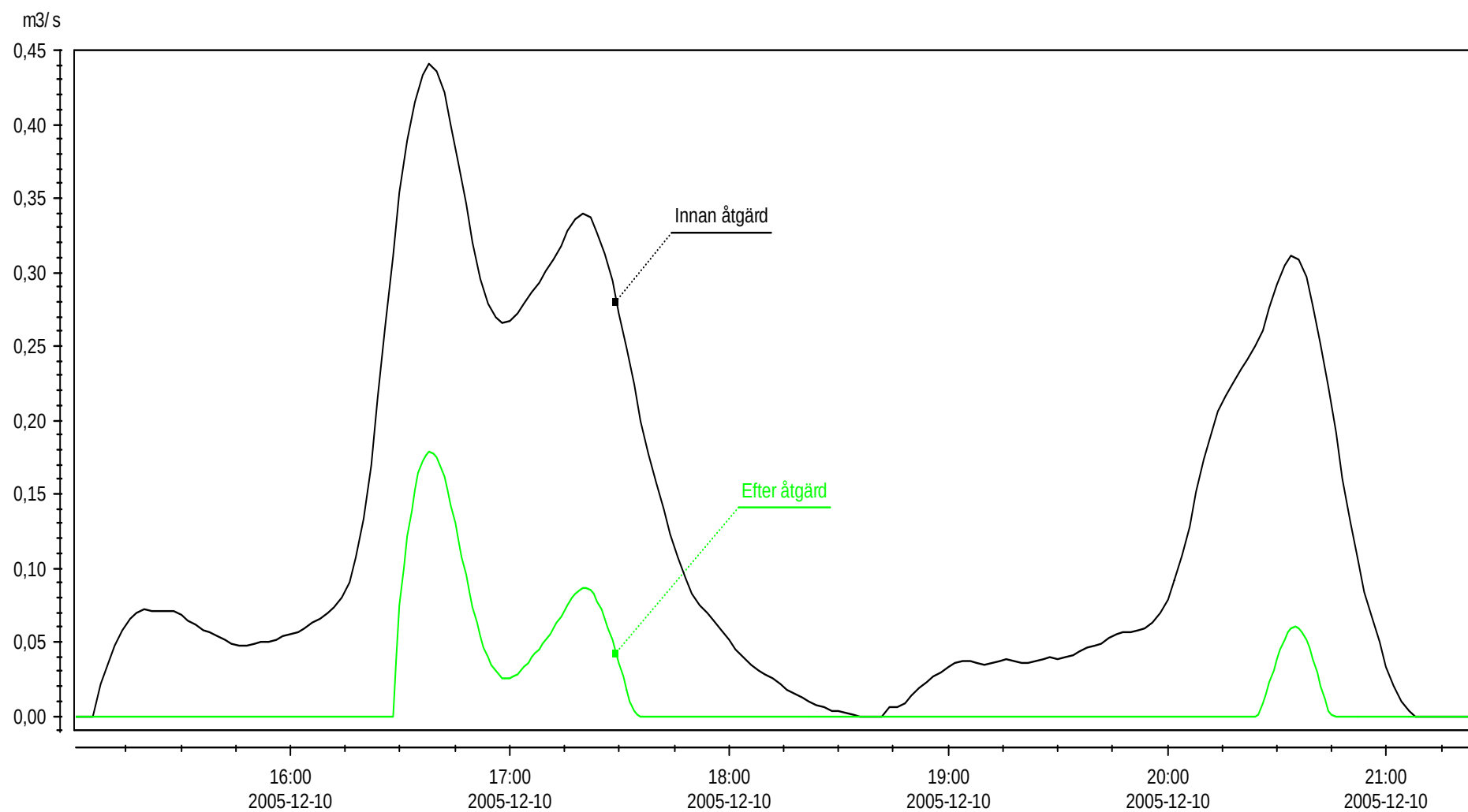
Bräddflöde för olika ledningsdimensioner till borrhål 2005-12-10
Omläggning av Ø400 till Ø500, konstant skibordshöjd 12.79



Bilaga C2

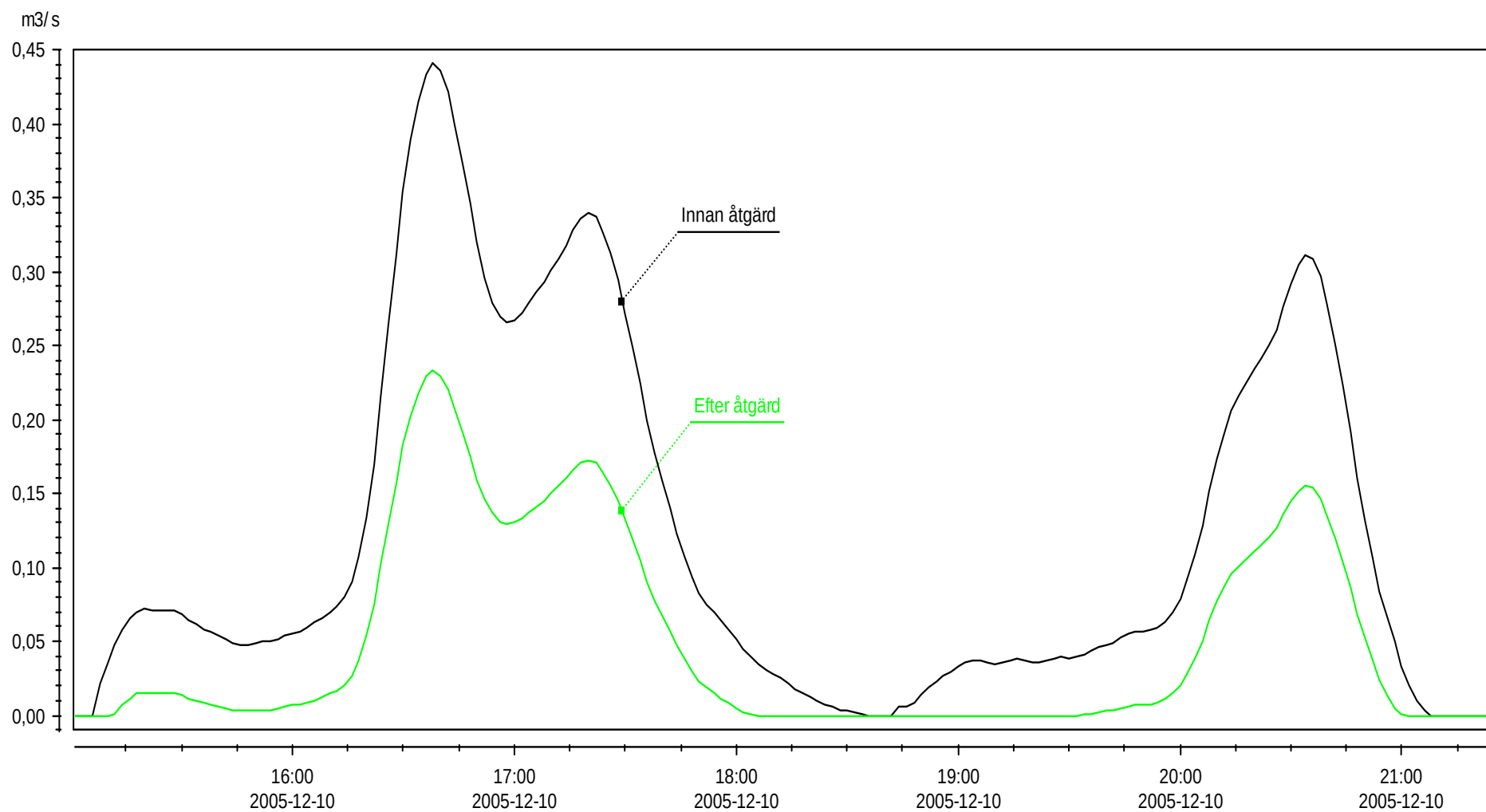
Bräddflöde för olika ledningsdimensioner 2005-12-10

Omläggning av Ø400 till Ø500, konstant skibordshöjd 13.30



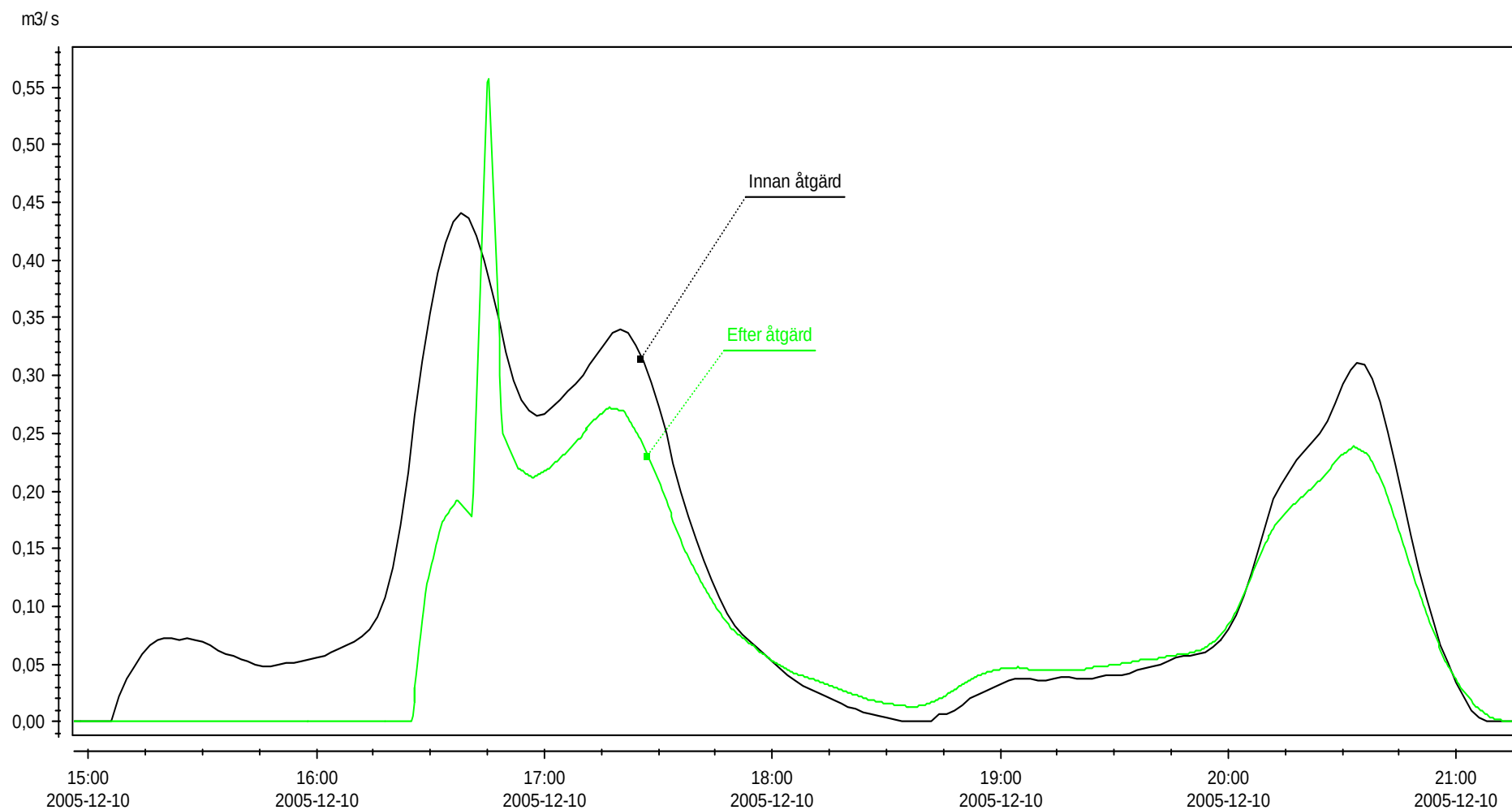
Bilaga C3

Bräddflöde för olika ledningsdimensioner 2005-12-10
Omläggning av Ø400 och Ø600 till Ø600 och Ø800, konstant skibordshöjd 12.79



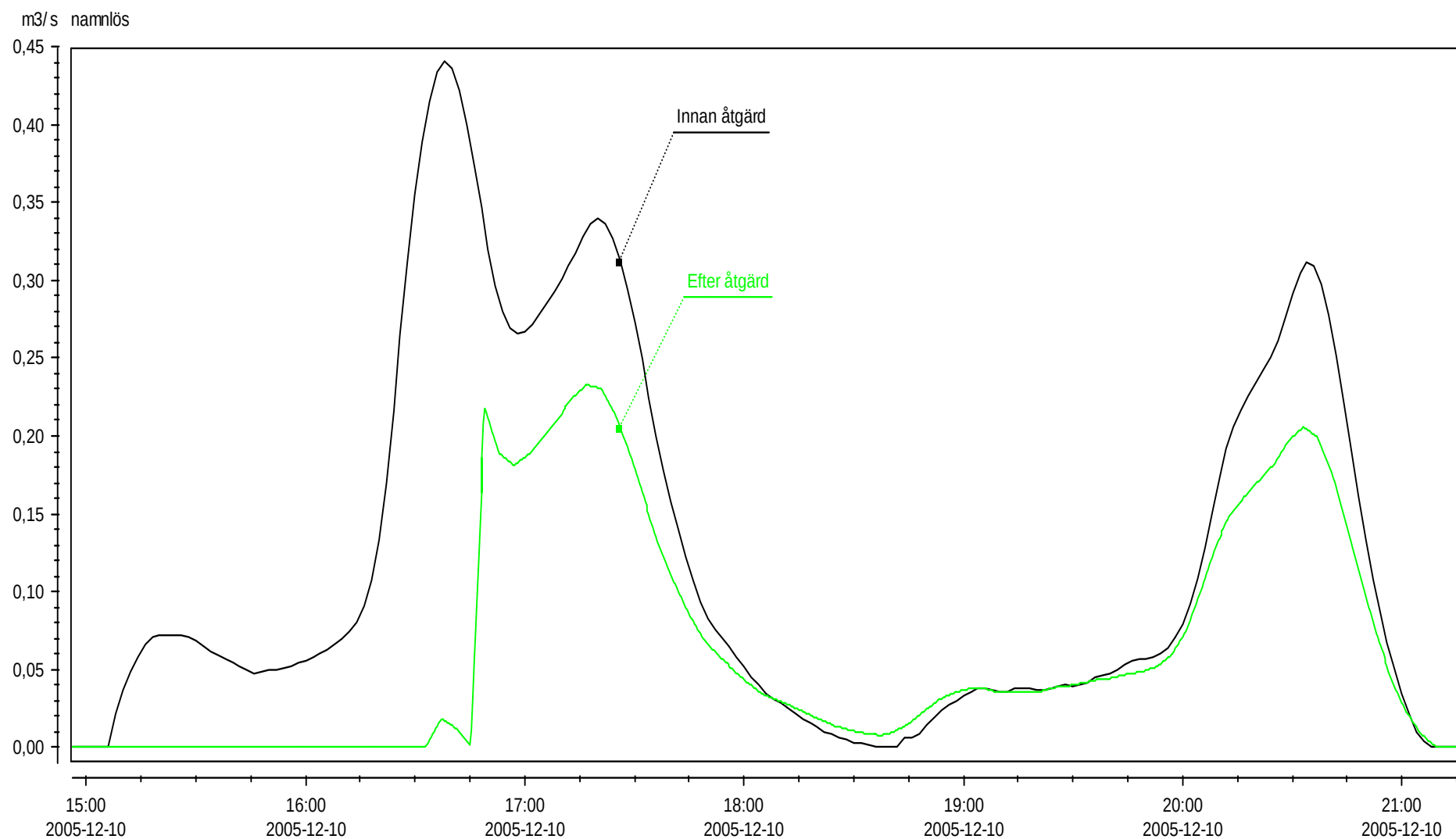
Bilaga D1**Bräddflöde innan och efter åtgärd 1A, 2005-12-10**

Styrning med skibord 100 minuter. Skibordshöjd under styrning 13.30, efter styrning 12.68. Ledningsdimension Ø500



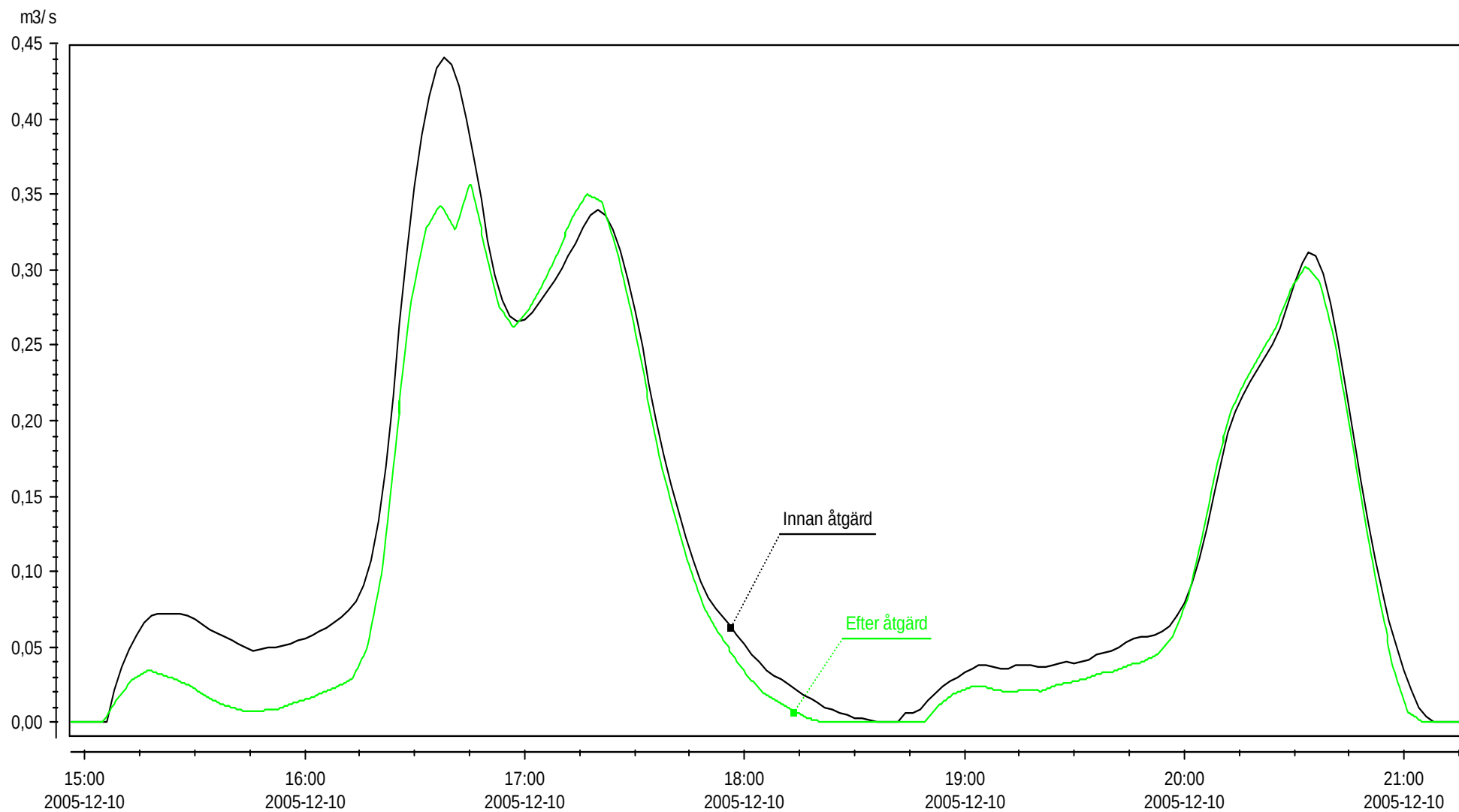
Bilaga D2**Bräddflöde innan och efter åtgärd 1B, 2005-12-10**

Styrning med skibord 100 minuter. Skibordshöjd under styrning 13.30, efter styrning 12.68. Ledningsdimension Ø600+Ø800



Bilaga D3

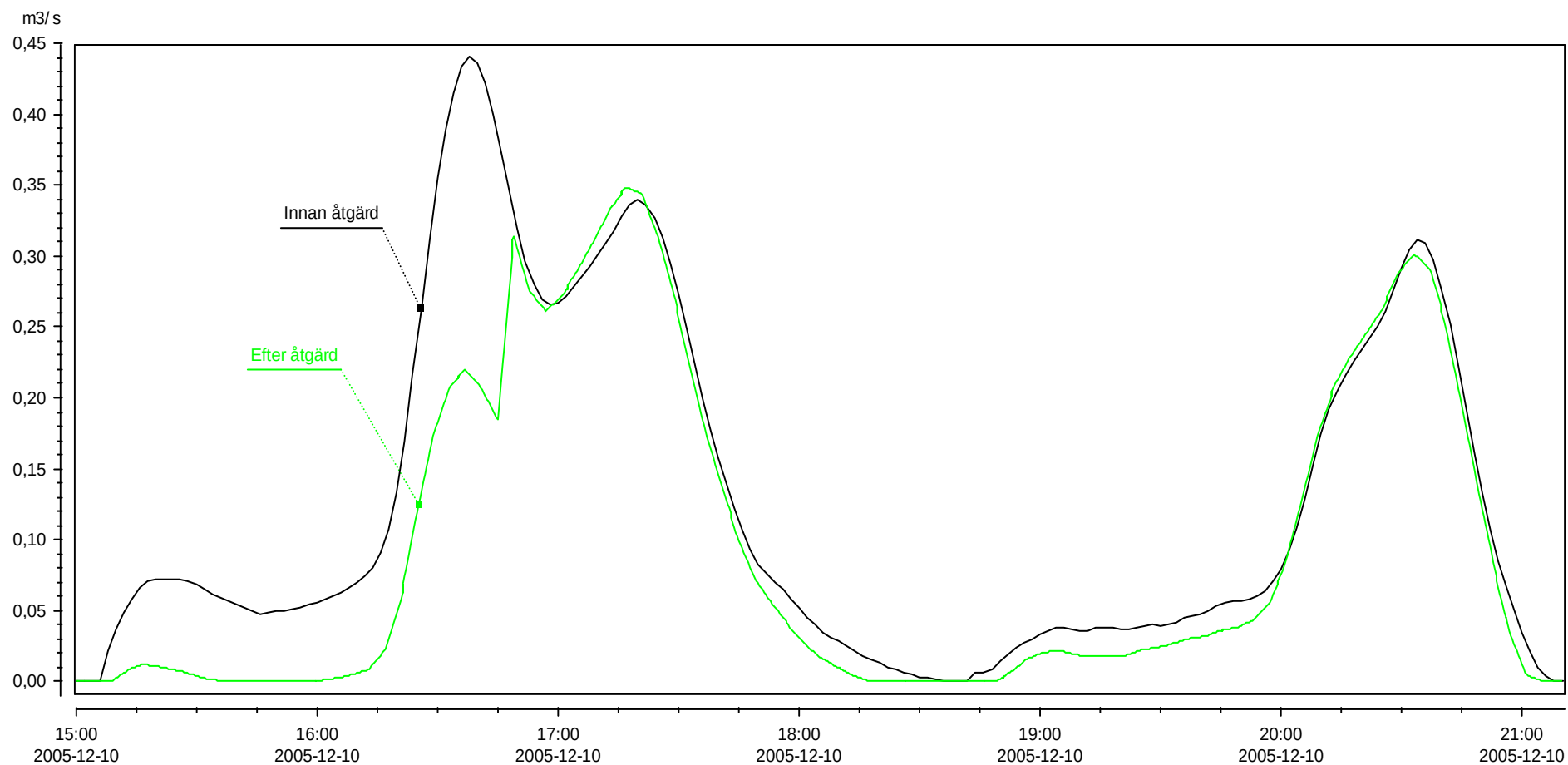
Bräddflöde innan och efter åtgärd 2A 2005-12-10
Styrning med lucka 100 minuter. Konstant skibordshöjd 12.79. Ledningsdimension Ø500



Bilaga D4

Bräddflöde innan och efter åtgärd 2B 2005-12-10

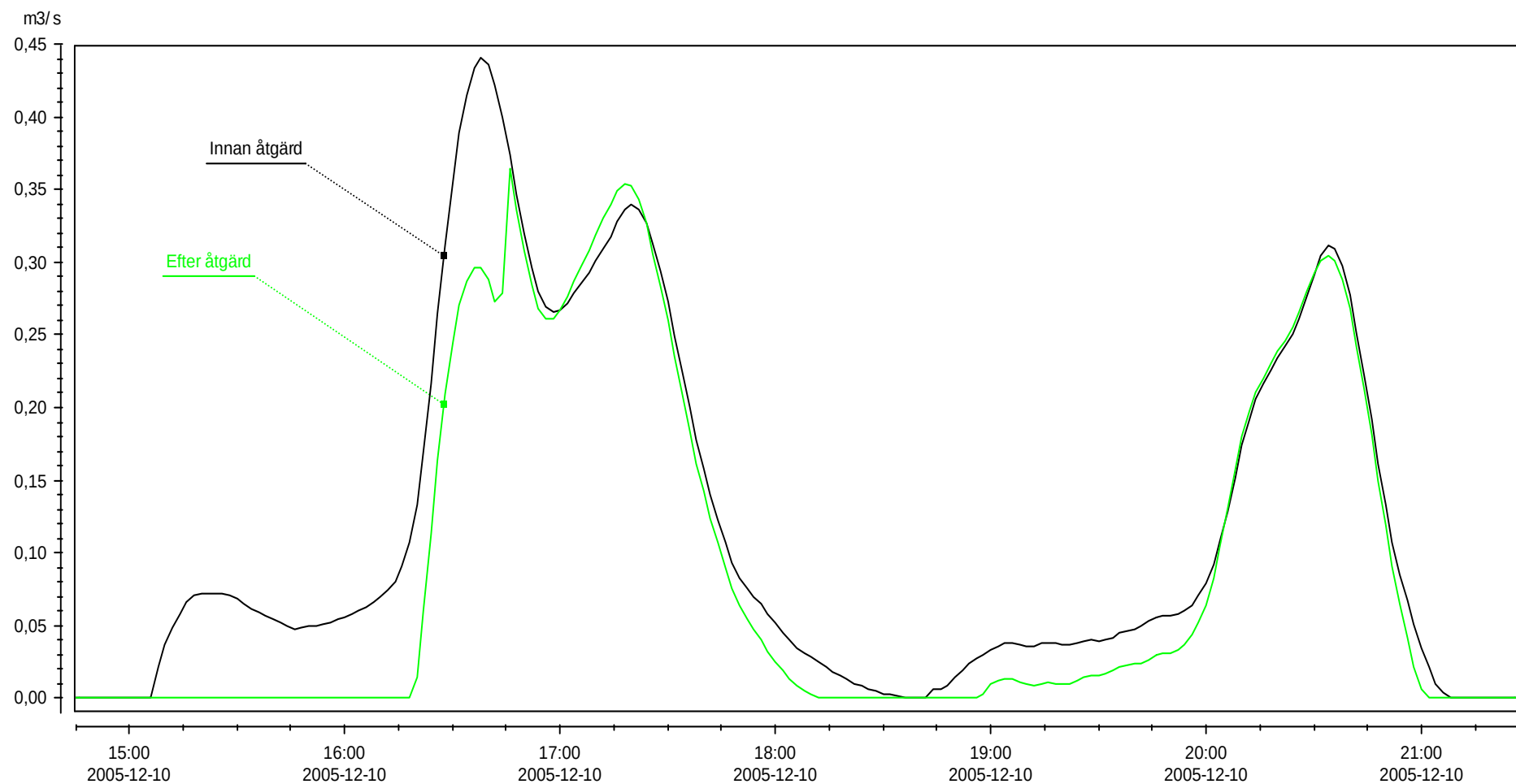
Styrning med lucka 100 minuter. Konstant skibordshöjd 12.79. Lednings dimension Ø600+Ø800



Bilaga D5

Bräddflöde innan och efter åtgärd 2B 2005-12-10

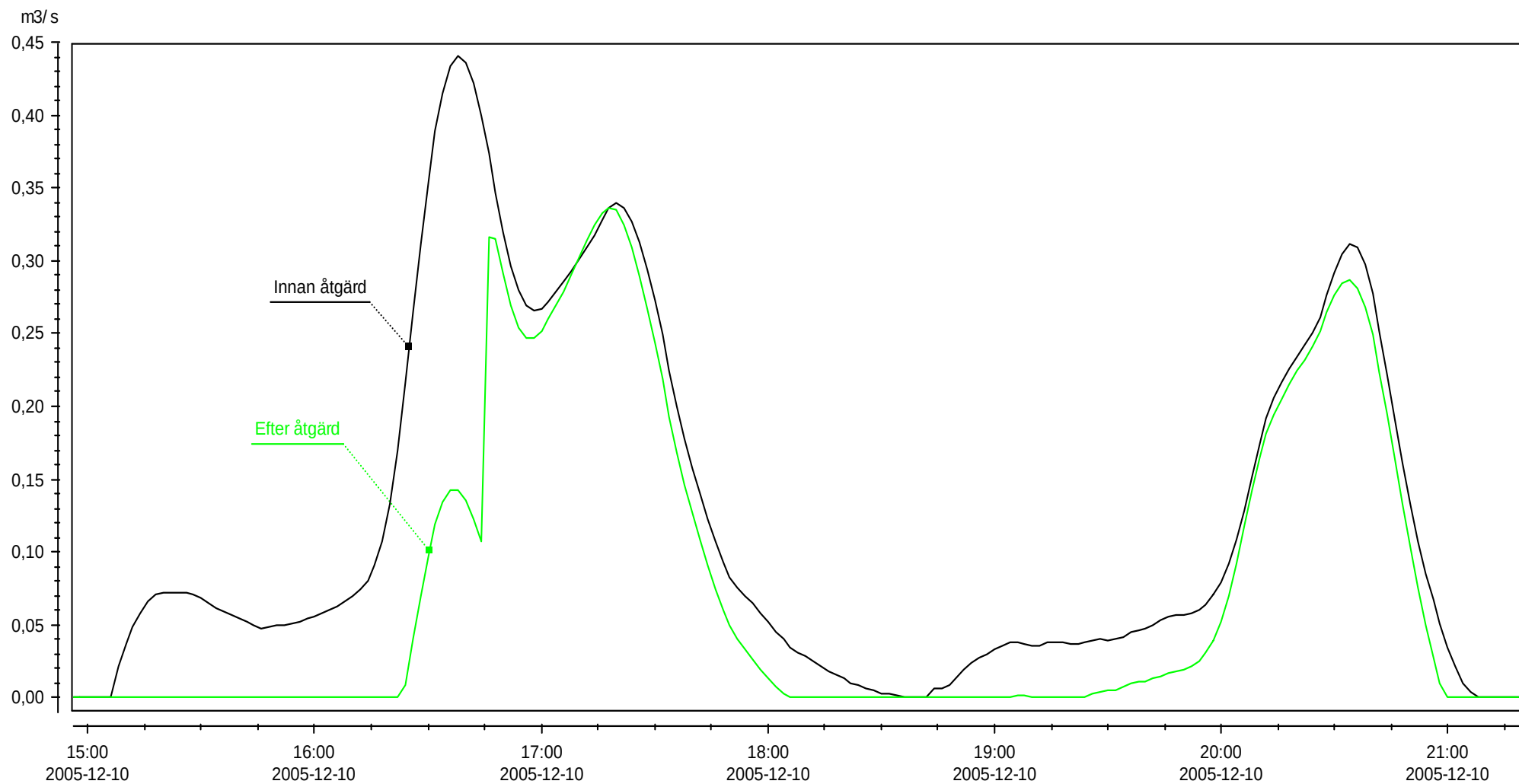
Styrning med lucka 100 minuter. Konstant skibordshöjd 13,00. Lednings dimension Ø500



Bilaga D6

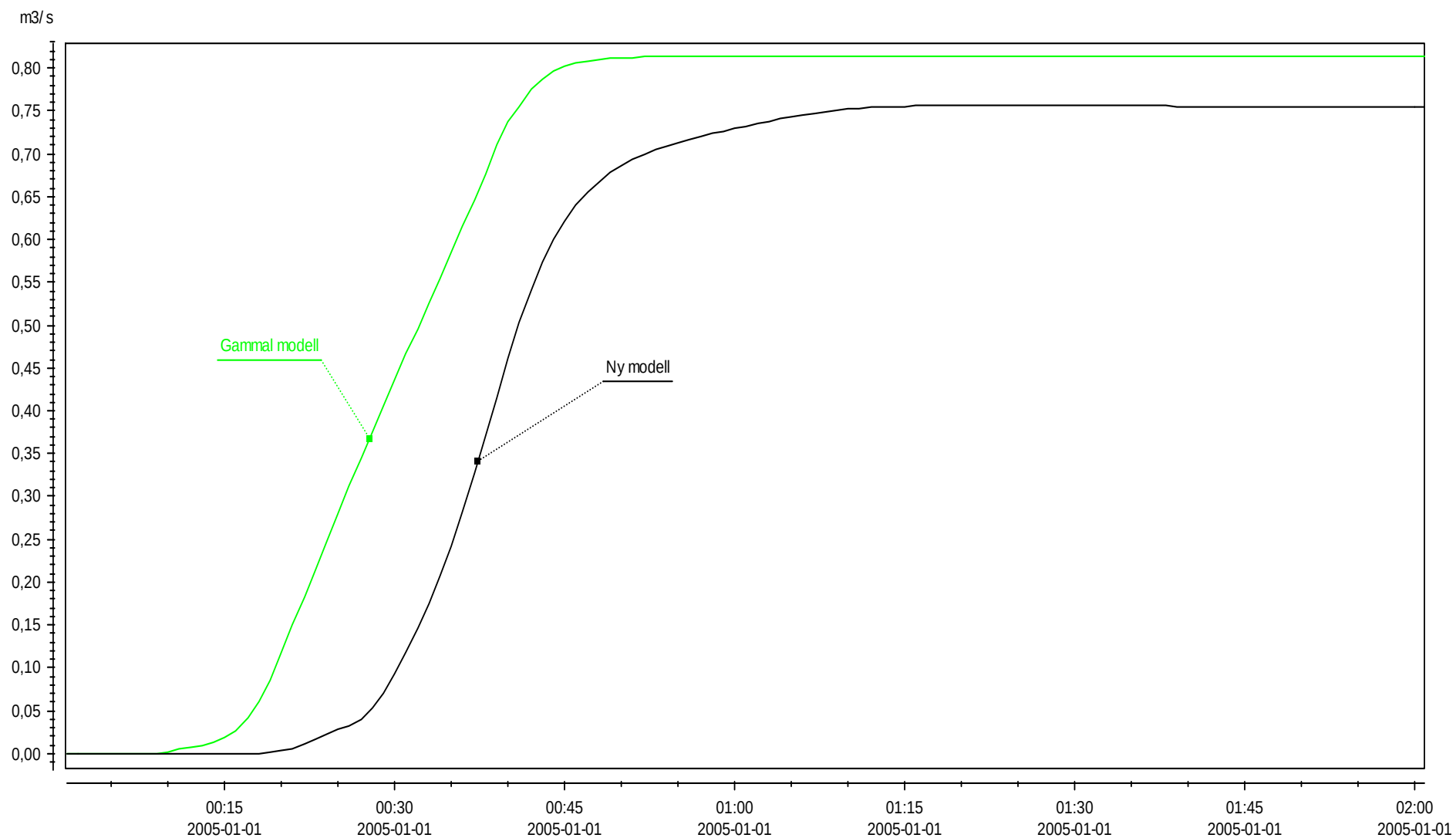
Bräddflöde innan och efter åtgärd 2B 2005-12-10

Styrning med lucka 100 minuter. Konstant skibordshöjd 13.00. Lednings dimension Ø600+Ø800



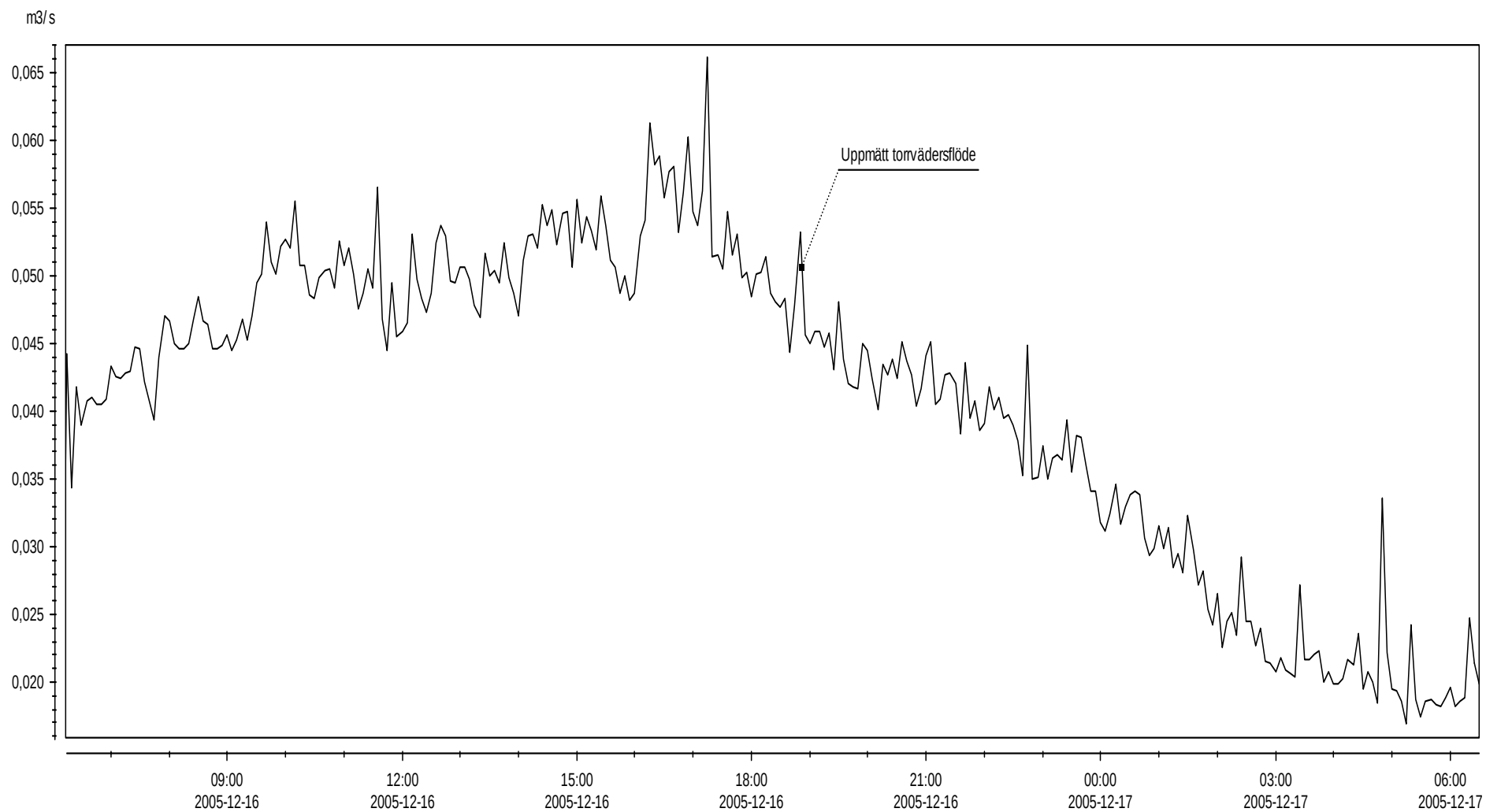
Bilaga E1

Koncentrationstidsjämförelse mellan VA-verkets modell och examensarbetets



Bilaga F1

Uppmätt torrvädersflöde under ett dygn, upplösning 5 minuter.



Bilaga G1**Regndata för 2005**

Grå markering indikerar regn som använts för kalibrering

Regn nr	Regnstart	Regnstopp	Varaktighet (h)	Regnvolym (mm)	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:5	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:10	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:15	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:20	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:30
1	2005-01-02 01:25	2005-01-02 05:33	4,1	4,6	13,3	10,0	10,2	10,0	8,9
2	2005-01-03 17:11	2005-01-03 20:04	2,9	6,1	20,0	16,7	17,2	15,0	13,3
3	2005-01-03 23:17	2005-01-04 08:10	8,9	8,4	13,3	10,0	8,9	6,7	6,7
4	2005-01-04 13:35	2005-01-04 17:48	4,2	2,6	13,3	10,0	6,7	6,7	5,6
5	2005-01-06 20:55	2005-01-07 01:48	4,9	3,8	6,7	6,7	6,7	6,7	5,6
6	2005-01-07 10:27	2005-01-07 13:53	3,4	2,2	11,3	5,7	5,3	4,0	3,8
7	2005-01-08 03:58	2005-01-08 19:19	15,4	9,2	18,0	14,3	11,8	8,8	7,1
8	2005-01-10 01:14	2005-01-10 08:15	7,0	15,0	40,0	20,0	13,3	18,3	12,2
9	2005-01-11 23:55	2005-01-12 02:24	2,5	8,4	18,0	15,7	14,9	14,0	12,3
10	2005-01-16 07:46	2005-01-16 14:48	7,0	5,4	18,0	13,3	10,9	8,3	6,7
11	2005-01-17 23:59	2005-01-18 16:13	16,2	24,9	22,7	20,0	17,8	16,7	14,4
12	2005-01-20 03:12	2005-01-20 07:46	4,6	7,6	13,3	13,3	13,2	11,7	9,8
13	2005-02-04 11:05	2005-02-04 14:14	3,2	3,2	13,3	13,3	11,1	10,0	8,9
14	2005-02-09 23:03	2005-02-10 04:08	5,1	4,2	11,3	9,0	8,2	7,8	6,7
15	2005-02-10 06:33	2005-02-10 11:15	4,7	3,8	18,0	10,0	8,2	6,7	4,4
16	2005-02-12 15:26	2005-02-13 15:28	24,0	13,6	6,7	6,7	6,7	6,7	5,6
17	2005-02-18 13:29	2005-02-18 18:25	4,9	6,0	6,7	6,7	6,7	6,7	5,6
18	2005-02-28 17:41	2005-03-01 01:49	8,1	6,2	6,7	6,7	6,7	6,7	5,6
19	2005-03-01 08:58	2005-03-01 15:15	6,3	3,4	11,3	10,0	8,9	6,7	5,6
20	2005-03-11 00:32	2005-03-11 06:48	6,3	8,4	6,7	6,7	6,7	5,0	5,6
21	2005-03-11 11:33	2005-03-11 22:03	10,5	3,8	6,7	3,3	2,2	3,3	2,2
22	2005-03-14 18:36	2005-03-14 23:20	4,7	3,6	13,3	10,0	8,9	8,3	7,8
23	2005-03-15 23:34	2005-03-16 10:41	11,1	12,4	13,3	10,0	11,1	10,0	8,9
24	2005-03-16 14:38	2005-03-16 22:52	8,2	3,0	6,7	6,7	4,4	4,5	3,3
25	2005-03-17 11:12	2005-03-17 13:45	2,6	2,2	6,7	6,7	4,4	5,0	4,4
26	2005-04-05 01:51	2005-04-05 07:15	5,4	8,0	20,0	13,3	12,3	11,7	10,0
27	2005-04-08 04:00	2005-04-08 08:54	4,9	4,0	11,3	10,0	8,2	7,8	6,7
28	2005-04-14 16:52	2005-04-15 02:43	9,9	3,6	6,7	6,7	4,4	3,3	3,3

29	2005-04-29 23:16	2005-04-30 03:28	4,2	3,0	26,7	16,7	14,7	13,3	10,0
Regn nr	Regnstart	Regnstopp	Varaktighet (h)	Regnvolym (mm)	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:5	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:10	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:15	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:20	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:30
30	2005-05-09 03:16	2005-05-09 06:05	2,8	2,6	13,3	10,0	8,9	8,3	6,3
31	2005-05-17 22:36	2005-05-17 23:09	0,6	4,0	31,3	26,7	24,4	21,7	21,1
32	2005-05-20 23:59	2005-05-21 00:57	1,0	2,2	18,0	13,3	11,1	11,2	8,9
33	2005-05-21 07:07	2005-05-21 13:16	6,2	17,0	24,7	20,0	19,3	19,5	18,3
34	2005-05-31 08:16	2005-05-31 12:35	4,3	3,2	11,3	6,7	6,7	5,0	4,4
35	2005-06-03 14:08	2005-06-03 16:06	2,0	5,4	33,3	30,0	26,0	23,3	18,9
36	2005-06-04 02:57	2005-06-04 07:09	4,2	18,0	44,7	36,7	34,2	32,8	30,9
37	2005-06-13 16:27	2005-06-13 21:23	4,9	5,4	20,0	13,3	11,1	10,0	7,8
38	2005-06-16 23:54	2005-06-17 02:11	2,3	7,2	53,3	46,7	39,3	38,3	33,3
39	2005-06-21 12:02	2005-06-21 18:30	6,5	24,2	126,7	103,3	84,4	76,2	54,4
40	2005-07-07 14:05	2005-07-07 15:18	1,2	11,4	209,3	147,7	113,3	87,2	60,0
41	2005-07-15 10:22	2005-07-15 19:08	8,8	20,0	51,3	36,7	28,2	23,3	18,9
42	2005-07-19 11:42	2005-07-19 15:10	3,5	15,4	166,7	142,3	114,9	91,7	63,3
43	2005-07-19 17:43	2005-07-19 19:18	1,6	3,6	38,0	20,0	15,6	11,7	8,9
44	2005-07-29 22:54	2005-07-29 23:59	1,1	2,2	18,0	12,3	8,9	10,0	7,8
45	2005-07-30 13:47	2005-07-30 23:16	9,5	28,0	33,3	30,0	26,0	24,5	23,0
46	2005-08-01 01:16	2005-08-01 06:32	5,3	7,2	31,3	23,3	17,8	16,7	13,3
47	2005-08-05 21:27	2005-08-06 01:57	4,5	9,8	104,7	89,0	64,4	50,0	33,3
48	2005-08-06 04:00	2005-08-06 05:08	1,1	2,4	26,7	20,0	13,3	11,7	8,9
49	2005-08-08 04:13	2005-08-08 04:43	0,5	3,2	40,0	32,3	26,7	21,7	17,8
50	2005-08-10 16:15	2005-08-10 17:51	1,6	5,2	26,7	25,7	20,0	16,7	13,3
51	2005-08-12 07:03	2005-08-12 12:23	5,3	13,2	20,0	19,0	17,1	16,7	15,6
52	2005-08-25 03:21	2005-08-25 19:06	15,8	18,3	33,3	25,7	23,8	22,8	20,6
53	2005-08-26 16:31	2005-08-26 20:47	4,3	12,0	111,3	79,0	59,3	46,7	32,2
54	2005-08-28 02:06	2005-08-28 05:39	3,6	8,0	58,0	36,7	27,8	24,5	19,4
55	2005-09-02 11:23	2005-09-02 14:37	3,2	4,6	24,7	20,0	19,1	16,7	12,2
56	2005-09-07 11:06	2005-09-07 13:23	2,3	14,6	51,3	49,0	42,2	36,2	32,2
57	2005-09-14 09:23	2005-09-14 10:31	1,1	5,4	33,3	33,3	28,9	26,2	21,1
58	2005-09-18 06:41	2005-09-18 09:52	3,2	6,6	13,3	12,3	11,1	11,7	10,9
59	2005-09-27 17:13	2005-09-28 09:07	15,9	23,6	13,3	10,0	8,9	9,5	8,2
60	2005-10-01 10:01	2005-10-02 03:23	17,4	18,2	6,7	5,7	4,4	5,0	4,4
61	2005-10-09 11:26	2005-10-09 14:14	2,8	5,0	6,7	6,7	6,7	6,7	6,5

62	2005-10-20 15:06	2005-10-20 18:01	2,9	4,8	6,7	6,7	6,7	5,0	5,6
63	2005-10-22 04:43	2005-10-22 19:09	14,4	19,0	6,7	6,7	6,7	6,2	5,6
Regn nr	Regnstart	Regnstopp	Varaktighet (h)	Regnvolym (mm)	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:5	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:10	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:15	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:20	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:30
64	2005-10-25 04:51	2005-10-25 10:19	5,5	4,0	13,3	10,0	6,7	5,0	4,4
65	2005-10-25 12:36	2005-10-25 15:27	2,9	15,4	26,7	24,7	24,4	23,3	23,0
66	2005-10-25 21:48	2005-10-26 01:43	3,9	6,4	38,0	20,0	17,1	16,2	15,6
67	2005-11-01 12:28	2005-11-01 19:23	6,9	6,4	13,3	13,3	11,1	10,0	10,0
68	2005-11-01 21:32	2005-11-01 21:58	0,4	3,6	60,0	43,3	34,9	28,3	20,0
69	2005-11-03 06:29	2005-11-03 15:15	8,8	12,5	20,0	14,7	12,7	12,8	10,8
70	2005-11-06 04:27	2005-11-06 09:29	5,0	6,4	26,7	20,0	19,3	16,7	13,3
71	2005-11-06 11:59	2005-11-06 14:32	2,6	4,6	24,7	20,0	17,8	18,3	16,7
72	2005-11-07 04:05	2005-11-07 12:28	8,4	16,4	18,0	15,7	15,6	15,0	13,3
73	2005-11-10 14:50	2005-11-10 19:45	4,9	2,4	13,3	6,7	6,7	6,7	5,6
74	2005-11-11 13:26	2005-11-11 17:11	3,8	3,2	6,7	6,7	6,7	5,0	4,4
75	2005-11-15 16:40	2005-11-15 17:34	0,9	2,2	20,0	15,7	11,1	11,2	8,9
76	2005-11-24 16:56	2005-11-25 00:55	8,0	8,8	13,3	10,0	8,7	6,7	6,7
77	2005-11-26 03:53	2005-11-26 11:22	7,5	4,2	6,7	5,7	4,4	3,3	3,3
78	2005-11-28 17:44	2005-11-28 21:01	3,3	3,4	11,3	9,0	6,7	6,7	6,7
79	2005-12-01 09:57	2005-12-01 14:05	4,1	5,4	13,3	10,0	8,9	8,3	7,8
80	2005-12-05 15:08	2005-12-05 18:32	3,4	2,8	13,3	10,0	8,9	8,3	6,7
81	2005-12-10 14:25	2005-12-10 21:25	7,0	10,4	18,0	13,3	12,7	11,7	10,0
82	2005-12-19 11:51	2005-12-19 18:30	6,7	2,4	6,7	3,3	4,4	3,3	2,2
83	2005-12-21 17:57	2005-12-21 20:40	2,7	4,4	18,0	13,3	13,3	13,3	12,2
84	2005-12-23 13:13	2005-12-23 18:46	5,6	3,0	13,3	6,7	6,7	5,0	4,4
85	2005-12-29 12:01	2005-12-30 04:00	16,0	7,0	13,3	9,0	8,2	6,7	5,6

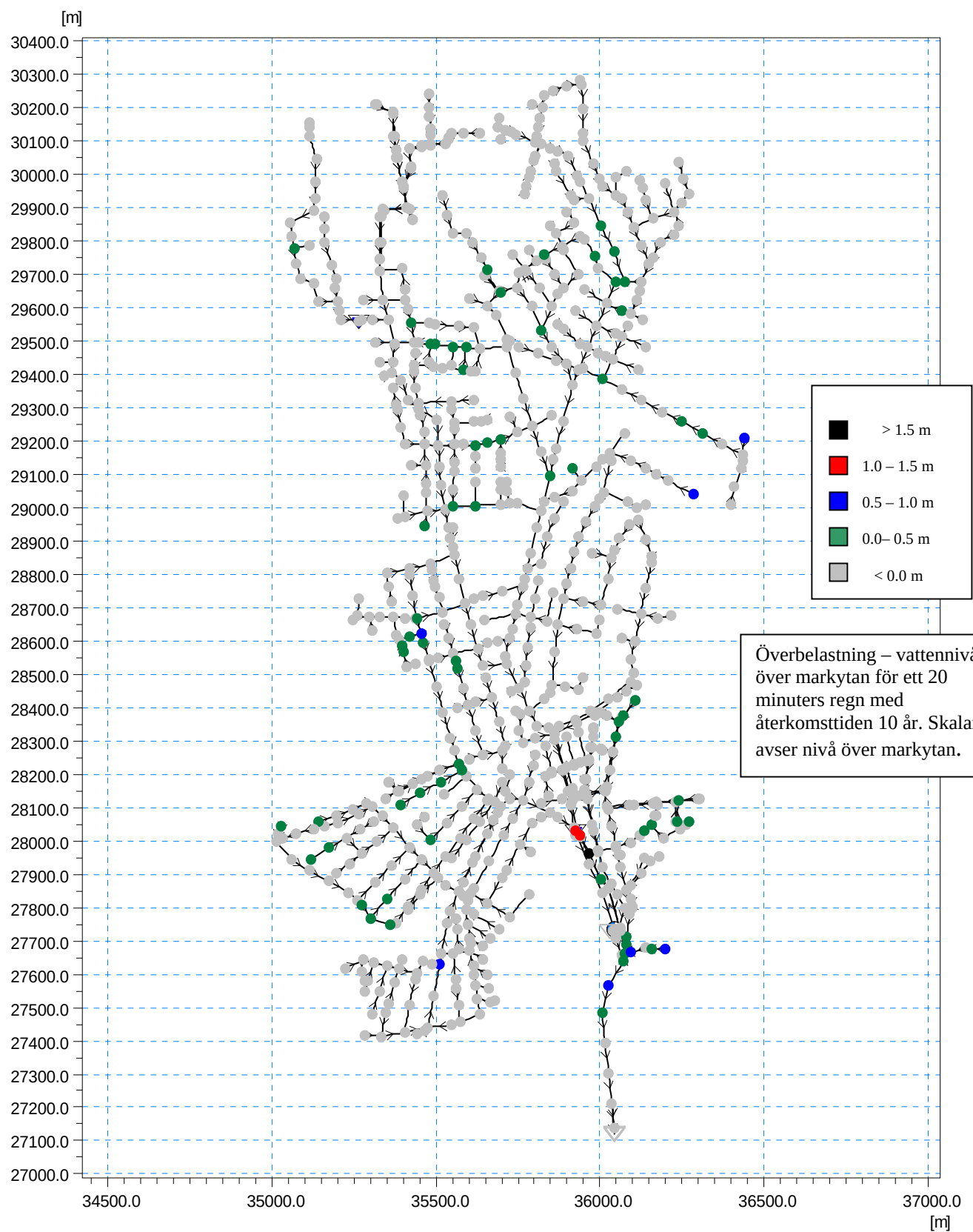
Regn nr	Regnstart	Regnstopp	Varaktighet (h)	Regnvolym (mm)	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:40	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:50	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:60	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:90	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:120
1	2005-01-02 01:25	2005-01-02 05:33	4,1	4,6	8,3	8,0	7,9	6,7	5,0
2	2005-01-03 17:11	2005-01-03 20:04	2,9	6,1	12,5	11,3	10,8	9,8	7,9
3	2005-01-03 23:17	2005-01-04 08:10	8,9	8,4	5,8	6,0	6,1	5,6	4,7
4	2005-01-04 13:35	2005-01-04 17:48	4,2	2,6	4,2	4,0	3,3	3,0	2,2
5	2005-01-06 20:55	2005-01-07 01:48	4,9	3,8	5,0	4,7	4,4	3,7	3,6
6	2005-01-07 10:27	2005-01-07 13:53	3,4	2,2	3,4	3,4	3,0	2,9	2,4
7	2005-01-08 03:58	2005-01-08 19:19	15,4	9,2	6,1	5,5	5,4	5,1	4,7
8	2005-01-10 01:14	2005-01-10 08:15	7,0	15,0	12,5	13,3	11,1	10,0	8,9
9	2005-01-11 23:55	2005-01-12 02:24	2,5	8,4	11,8	11,6	11,2	11,0	10,3
10	2005-01-16 07:46	2005-01-16 14:48	7,0	5,4	7,3	6,7	6,1	5,6	4,2
11	2005-01-17 23:59	2005-01-18 16:13	16,2	24,9	13,1	12,0	11,1	9,3	7,8
12	2005-01-20 03:12	2005-01-20 07:46	4,6	7,6	9,2	8,7	7,8	6,4	6,3
13	2005-02-04 11:05	2005-02-04 14:14	3,2	3,2	8,1	6,7	6,1	4,4	3,3
14	2005-02-09 23:03	2005-02-10 04:08	5,1	4,2	5,8	6,0	5,6	4,4	3,9
15	2005-02-10 06:33	2005-02-10 11:15	4,7	3,8	4,2	4,0	3,9	3,7	3,3
16	2005-02-12 15:26	2005-02-13 15:28	24,0	13,6	5,0	4,7	4,4	3,7	3,9
17	2005-02-18 13:29	2005-02-18 18:25	4,9	6,0	5,8	5,3	5,0	4,4	4,2
18	2005-02-28 17:41	2005-03-01 01:49	8,1	6,2	5,0	4,7	4,4	3,7	3,6
19	2005-03-01 08:58	2005-03-01 15:15	6,3	3,4	4,2	4,0	3,3	2,7	2,5
20	2005-03-11 00:32	2005-03-11 06:48	6,3	8,4	5,0	5,0	5,0	4,8	4,7
21	2005-03-11 11:33	2005-03-11 22:03	10,5	3,8	2,5	2,0	2,2	1,9	1,7
22	2005-03-14 18:36	2005-03-14 23:20	4,7	3,6	7,3	6,7	5,6	4,4	3,6
23	2005-03-15 23:34	2005-03-16 10:41	11,1	12,4	8,3	8,7	8,3	7,8	7,2
24	2005-03-16 14:38	2005-03-16 22:52	8,2	3,0	3,3	3,3	2,8	2,2	1,9
25	2005-03-17 11:12	2005-03-17 13:45	2,6	2,2	4,2	4,0	3,9	3,3	2,8
26	2005-04-05 01:51	2005-04-05 07:15	5,4	8,0	8,3	7,3	7,1	6,3	5,6
27	2005-04-08 04:00	2005-04-08 08:54	4,9	4,0	6,7	6,0	5,6	4,8	4,1
28	2005-04-14 16:52	2005-04-15 02:43	9,9	3,6	3,3	2,7	2,2	2,2	1,7
29	2005-04-29 23:16	2005-04-30 03:28	4,2	3,0	7,5	6,7	6,1	4,1	3,1
30	2005-05-09 03:16	2005-05-09 06:05	2,8	2,6	5,0	4,0	3,9	2,6	2,2
31	2005-05-17 22:36	2005-05-17 23:09	0,6	4,0	16,7	13,3	11,1	7,4	5,6
32	2005-05-20 23:59	2005-05-21 00:57	1,0	2,2	7,5	6,7	6,1	4,1	3,1

33	2005-05-21 07:07	2005-05-21 13:16	6,2	17,0	17,5	17,1	16,7	14,9	13,6
Regn nr	Regnstart	Regnstopp	Varaktighet (h)	Regnvolym (mm)	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:40	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:50	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:60	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:90	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:120
34	2005-05-31 08:16	2005-05-31 12:35	4,3	3,2	4,2	4,0	3,3	3,2	2,8
35	2005-06-03 14:08	2005-06-03 16:06	2,0	5,4	15,0	13,3	12,6	9,3	7,5
36	2005-06-04 02:57	2005-06-04 07:09	4,2	18,0	29,2	27,1	25,4	22,0	19,6
37	2005-06-13 16:27	2005-06-13 21:23	4,9	5,4	6,7	6,0	5,6	4,8	4,2
38	2005-06-16 23:54	2005-06-17 02:11	2,3	7,2	25,8	20,7	17,8	11,9	9,0
39	2005-06-21 12:02	2005-06-21 18:30	6,5	24,2	45,8	39,6	34,7	27,8	24,0
40	2005-07-07 14:05	2005-07-07 15:18	1,2	11,4	46,7	37,3	31,1	21,1	15,8
41	2005-07-15 10:22	2005-07-15 19:08	8,8	20,0	17,5	17,1	17,2	15,3	15,5
42	2005-07-19 11:42	2005-07-19 15:10	3,5	15,4	50,0	42,0	36,2	25,9	19,7
43	2005-07-19 17:43	2005-07-19 19:18	1,6	3,6	8,3	9,3	8,3	6,3	5,0
44	2005-07-29 22:54	2005-07-29 23:59	1,1	2,2	7,5	6,7	5,6	4,1	3,1
45	2005-07-30 13:47	2005-07-30 23:16	9,5	28,0	22,2	22,0	21,1	18,1	18,3
46	2005-08-01 01:16	2005-08-01 06:32	5,3	7,2	10,8	9,1	9,4	7,0	5,6
47	2005-08-05 21:27	2005-08-06 01:57	4,5	9,8	25,8	20,7	17,8	11,9	8,9
48	2005-08-06 04:00	2005-08-06 05:08	1,1	2,4	7,5	6,7	6,1	4,4	3,3
49	2005-08-08 04:13	2005-08-08 04:43	0,5	3,2	13,3	10,7	8,9	5,9	4,4
50	2005-08-10 16:15	2005-08-10 17:51	1,6	5,2	11,9	10,7	10,6	9,3	7,2
51	2005-08-12 07:03	2005-08-12 12:23	5,3	13,2	15,0	14,7	14,4	11,8	9,7
52	2005-08-25 03:21	2005-08-25 19:06	15,8	18,3	18,3	17,3	16,5	14,1	11,9
53	2005-08-26 16:31	2005-08-26 20:47	4,3	12,0	25,8	31,0	30,0	20,4	15,6
54	2005-08-28 02:06	2005-08-28 05:39	3,6	8,0	19,2	16,0	13,9	12,0	9,7
55	2005-09-02 11:23	2005-09-02 14:37	3,2	4,6	10,0	8,7	8,5	6,7	5,0
56	2005-09-07 11:06	2005-09-07 13:23	2,3	14,6	28,3	28,7	25,6	20,1	19,2
57	2005-09-14 09:23	2005-09-14 10:31	1,1	5,4	20,0	17,3	14,4	10,0	7,5
58	2005-09-18 06:41	2005-09-18 09:52	3,2	6,6	10,0	9,3	8,9	7,4	6,9
59	2005-09-27 17:13	2005-09-28 09:07	15,9	23,6	7,5	7,3	6,7	6,3	6,4
60	2005-10-01 10:01	2005-10-02 03:23	17,4	18,2	4,2	4,0	3,9	3,7	3,6
61	2005-10-09 11:26	2005-10-09 14:14	2,8	5,0	5,8	6,0	5,7	5,6	5,3
62	2005-10-20 15:06	2005-10-20 18:01	2,9	4,8	5,0	5,2	5,0	4,8	4,7
63	2005-10-22 04:43	2005-10-22 19:09	14,4	19,0	5,6	5,3	5,0	4,9	4,7
64	2005-10-25 04:51	2005-10-25 10:19	5,5	4,0	4,2	3,8	3,3	3,0	2,8
65	2005-10-25 12:36	2005-10-25 15:27	2,9	15,4	20,8	20,0	19,4	19,6	18,2

66	2005-10-25 21:48	2005-10-26 01:43	3,9	6,4	14,2	14,0	12,8	8,9	7,4
Regn nr	Regnstart	Regnstopp	Varaktighet (h)	Regnvolym (mm)	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:40	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:50	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:60	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:90	Max blockint (l/s,ha) för blockregnsvarakt, min:120
67	2005-11-01 12:28	2005-11-01 19:23	6,9	6,4	9,2	9,1	8,7	7,4	5,8
68	2005-11-01 21:32	2005-11-01 21:58	0,4	3,6	15,0	12,0	10,0	6,7	5,0
69	2005-11-03 06:29	2005-11-03 15:15	8,8	12,5	9,7	9,4	9,1	8,0	7,4
70	2005-11-06 04:27	2005-11-06 09:29	5,0	6,4	10,8	8,7	7,2	4,8	4,4
71	2005-11-06 11:59	2005-11-06 14:32	2,6	4,6	13,3	11,3	9,6	7,8	5,8
72	2005-11-07 04:05	2005-11-07 12:28	8,4	16,4	12,5	12,0	10,9	10,0	10,0
73	2005-11-10 14:50	2005-11-10 19:45	4,9	2,4	4,2	3,3	3,3	2,2	1,7
74	2005-11-11 13:26	2005-11-11 17:11	3,8	3,2	4,2	4,0	3,9	3,0	2,8
75	2005-11-15 16:40	2005-11-15 17:34	0,9	2,2	8,3	6,7	6,1	4,1	3,1
76	2005-11-24 16:56	2005-11-25 00:55	8,0	8,8	6,7	6,0	5,6	5,2	5,0
77	2005-11-26 03:53	2005-11-26 11:22	7,5	4,2	3,3	2,7	2,8	2,6	2,2
78	2005-11-28 17:44	2005-11-28 21:01	3,3	3,4	5,8	4,7	4,3	3,3	3,9
79	2005-12-01 09:57	2005-12-01 14:05	4,1	5,4	7,7	7,8	7,2	5,9	5,0
80	2005-12-05 15:08	2005-12-05 18:32	3,4	2,8	5,8	5,3	5,0	4,1	3,3
81	2005-12-10 14:25	2005-12-10 21:25	7,0	10,4	8,6	8,7	8,9	7,4	6,4
82	2005-12-19 11:51	2005-12-19 18:30	6,7	2,4	2,5	2,0	2,2	1,9	1,4
83	2005-12-21 17:57	2005-12-21 20:40	2,7	4,4	10,8	10,0	9,3	6,3	5,0
84	2005-12-23 13:13	2005-12-23 18:46	5,6	3,0	4,2	4,0	3,9	3,3	3,1
85	2005-12-29 12:01	2005-12-30 04:00	16,0	7,0	5,0	4,6	3,9	3,3	2,8

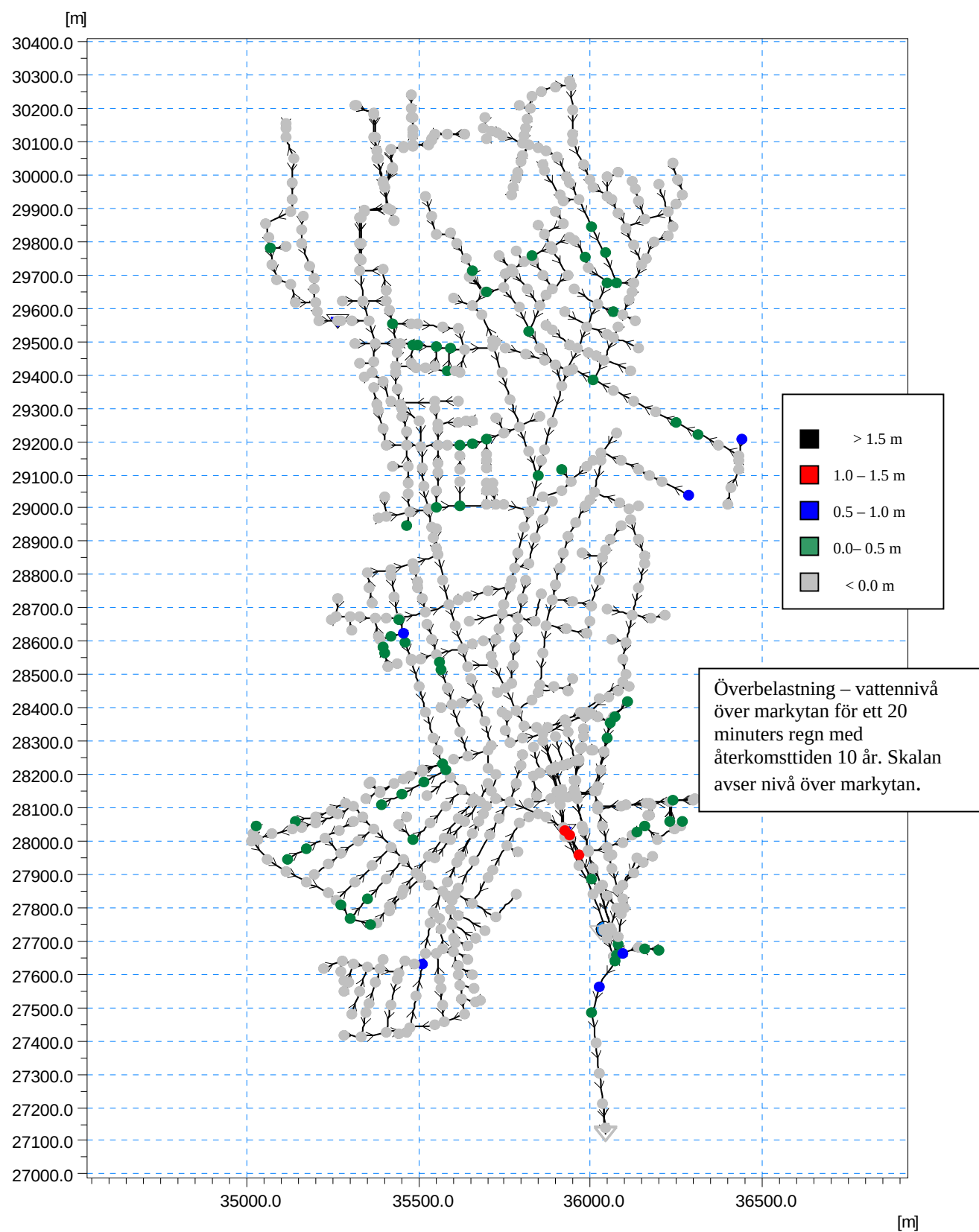
Bilaga H1

Överbelastning innan åtgärd - Vattennivå över markyta



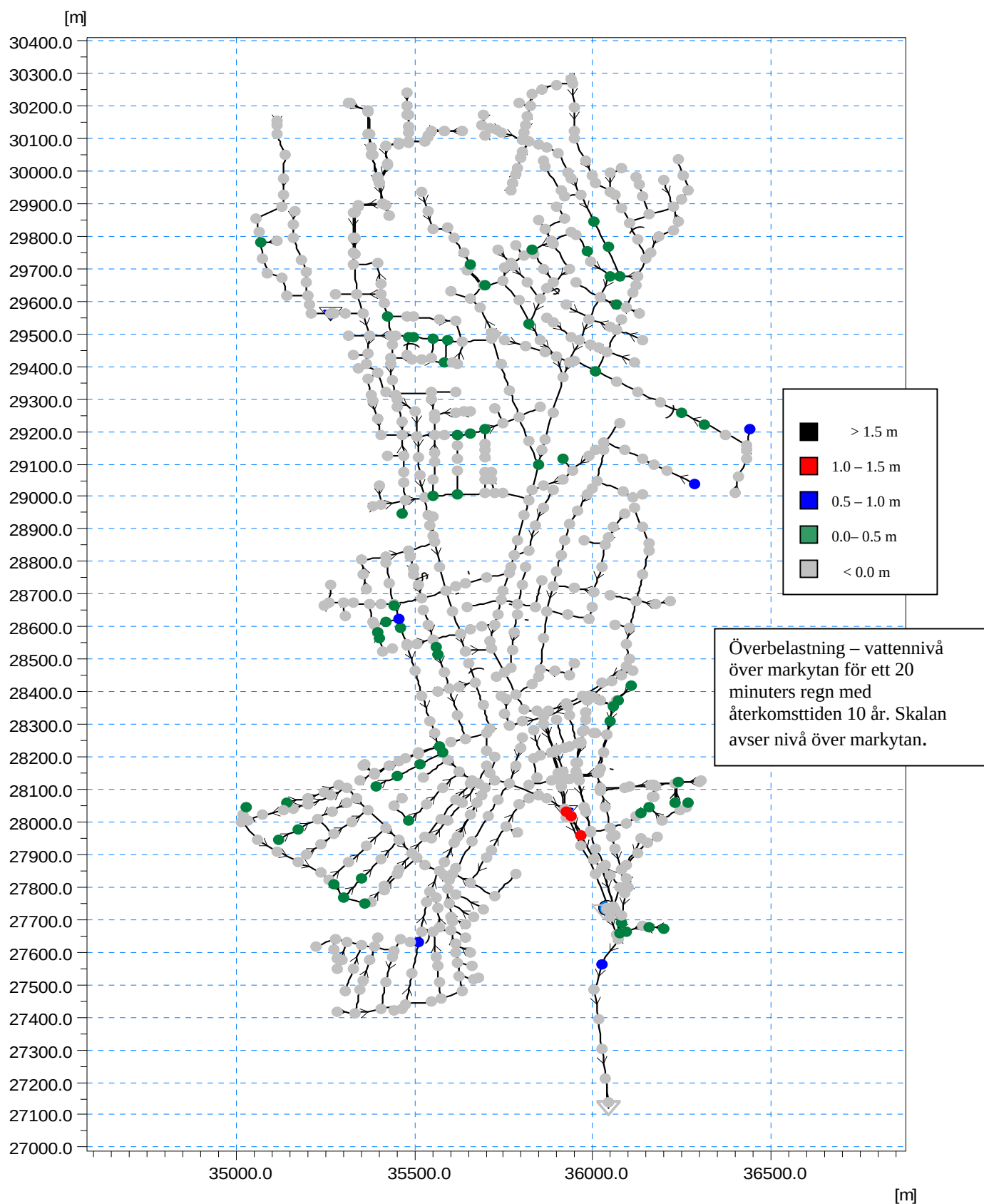
Bilaga H2

Överbelastning – Vattennivå över markytan
 Ledningsdimension Ø500, skibord 13.30



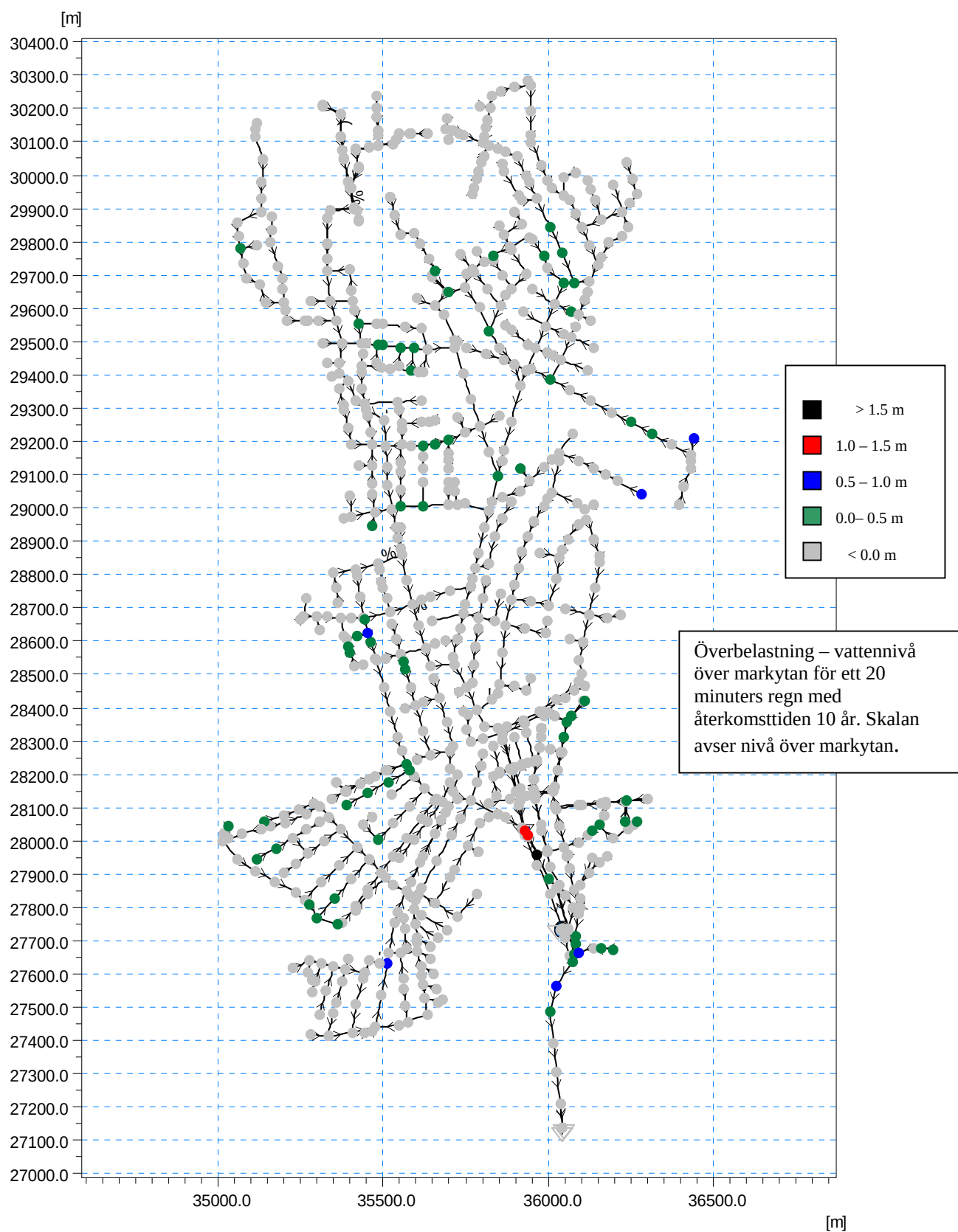
Bilaga H3

Överbelastning – Vattennivå över markytan
 Ledningsdimension Ø600+ Ø800, skibord 13.30



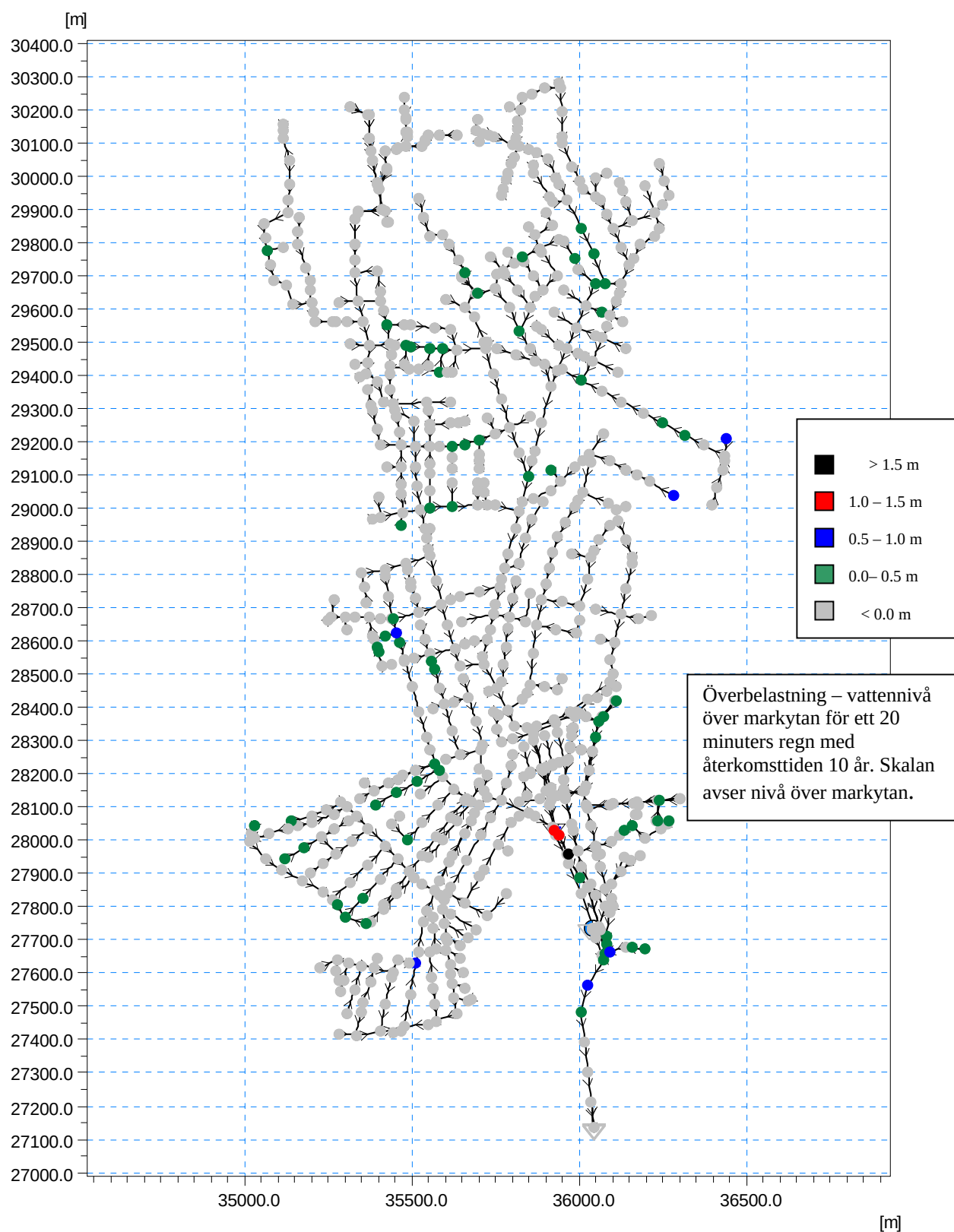
Bilaga H4

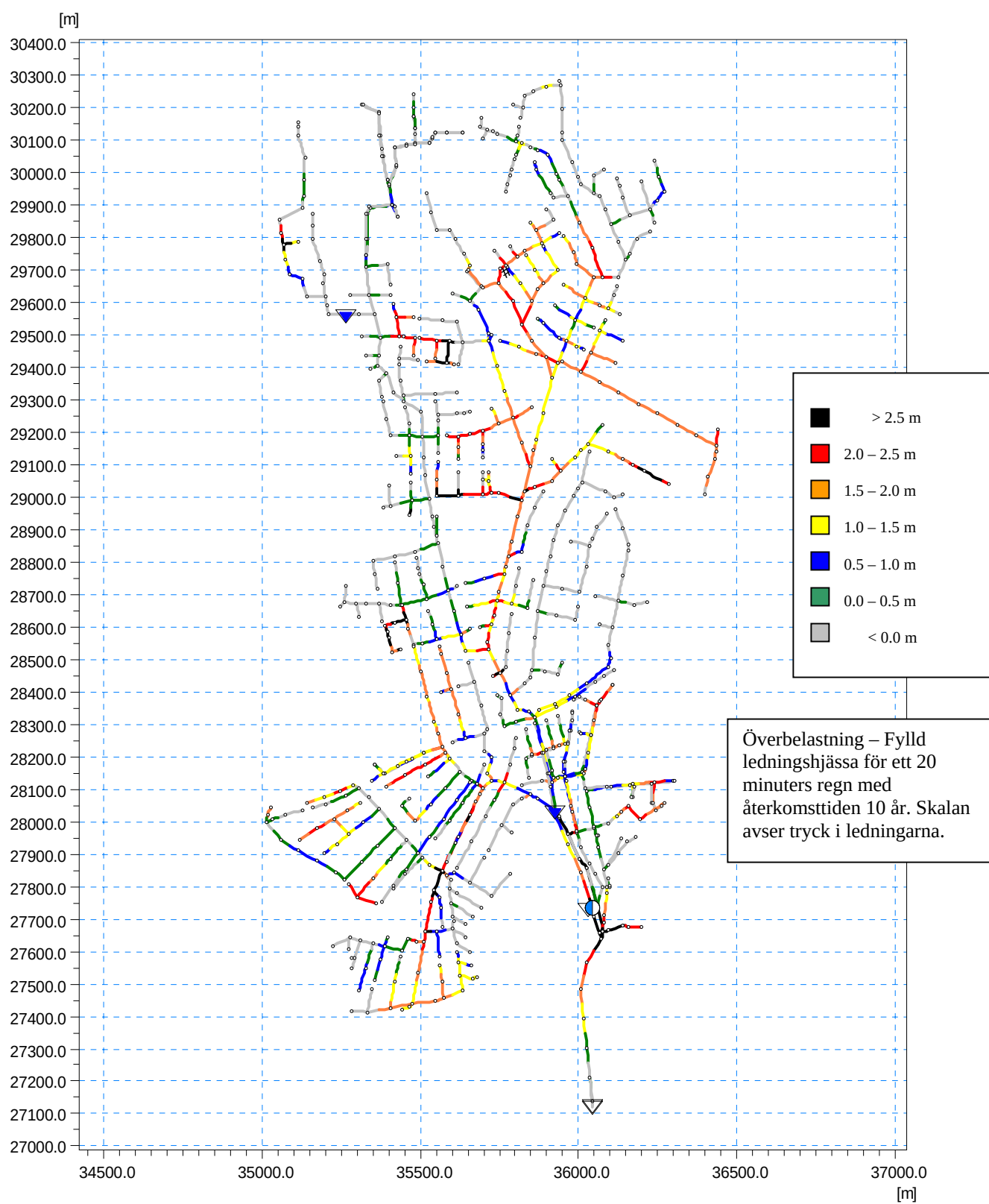
Överbelastning - Vattennivå över markytan
 Ledningsdimension Ø500, skibord 13.00, Strykning med lucka



Bilaga H5

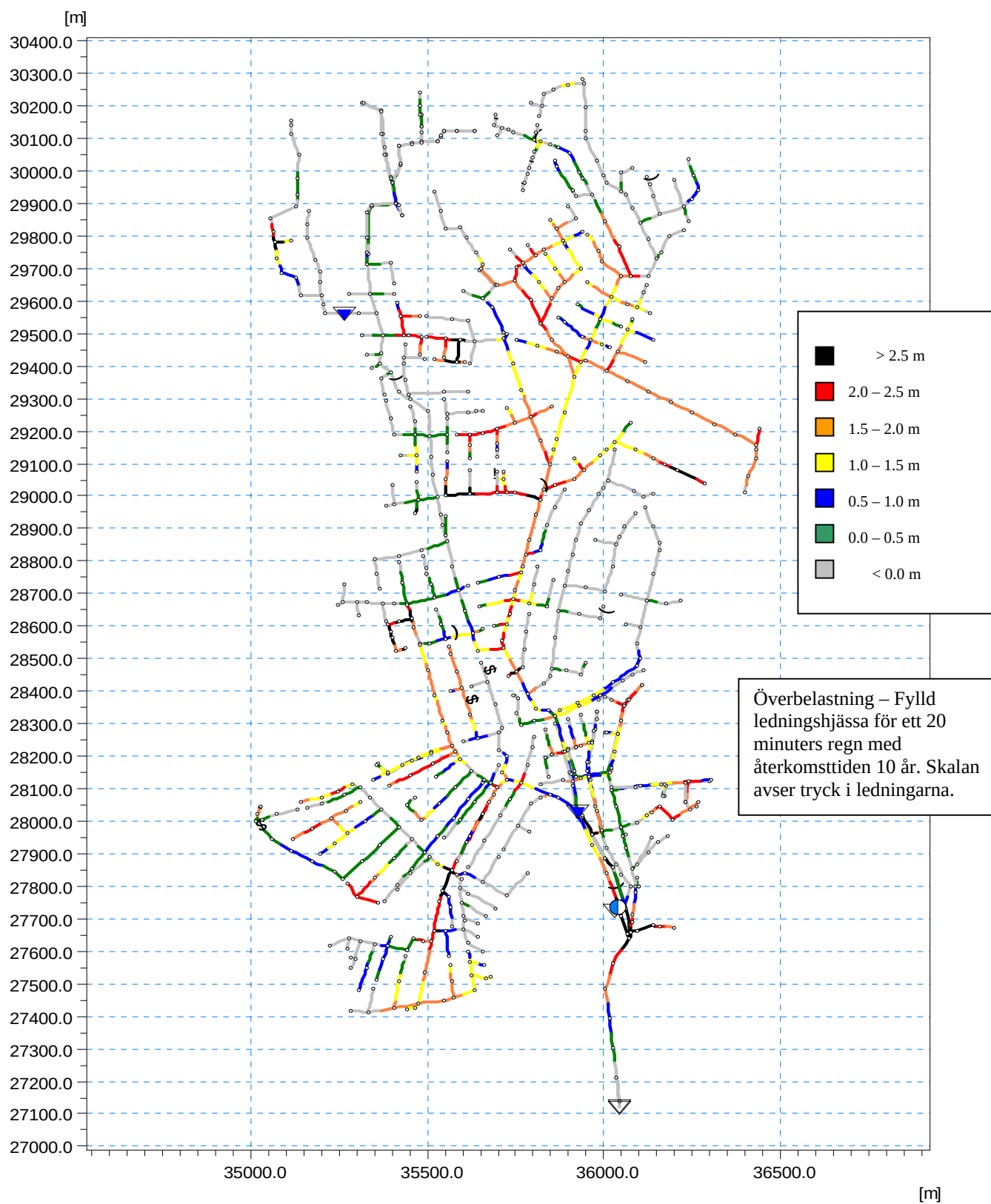
Överbelastning - Vattennivå över markytan
 Ledningsdimension Ø600+Ø800, skibord 13,00, Strykning med lucka



Bilaga I1**Överbelastning nuvarande system innan åtgärd – Fylld ledningshjässa**

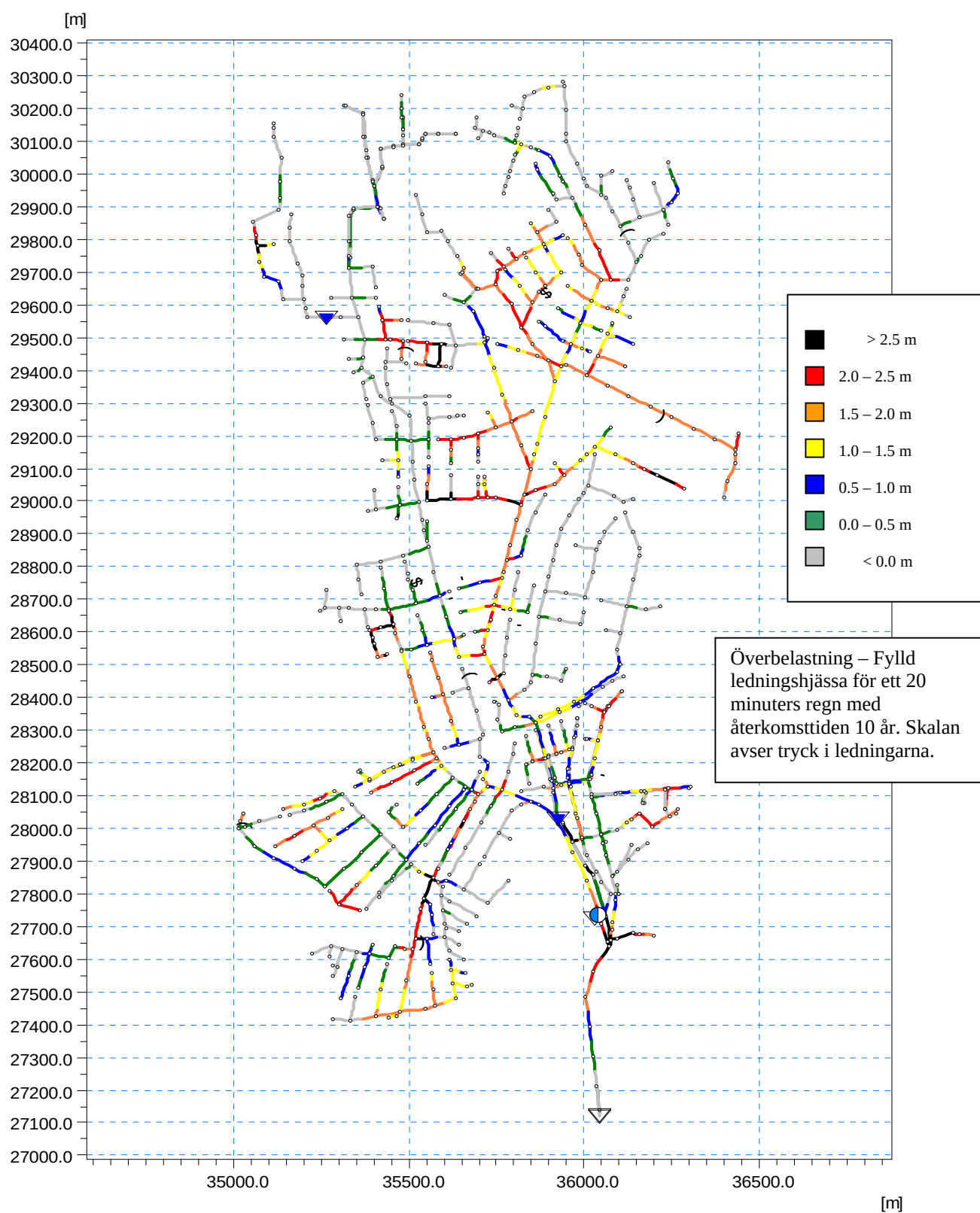
Bilaga I2

Överbelastning – Fylld ledningshjässa
 Ledningsdimension Ø500, skibord 13.30



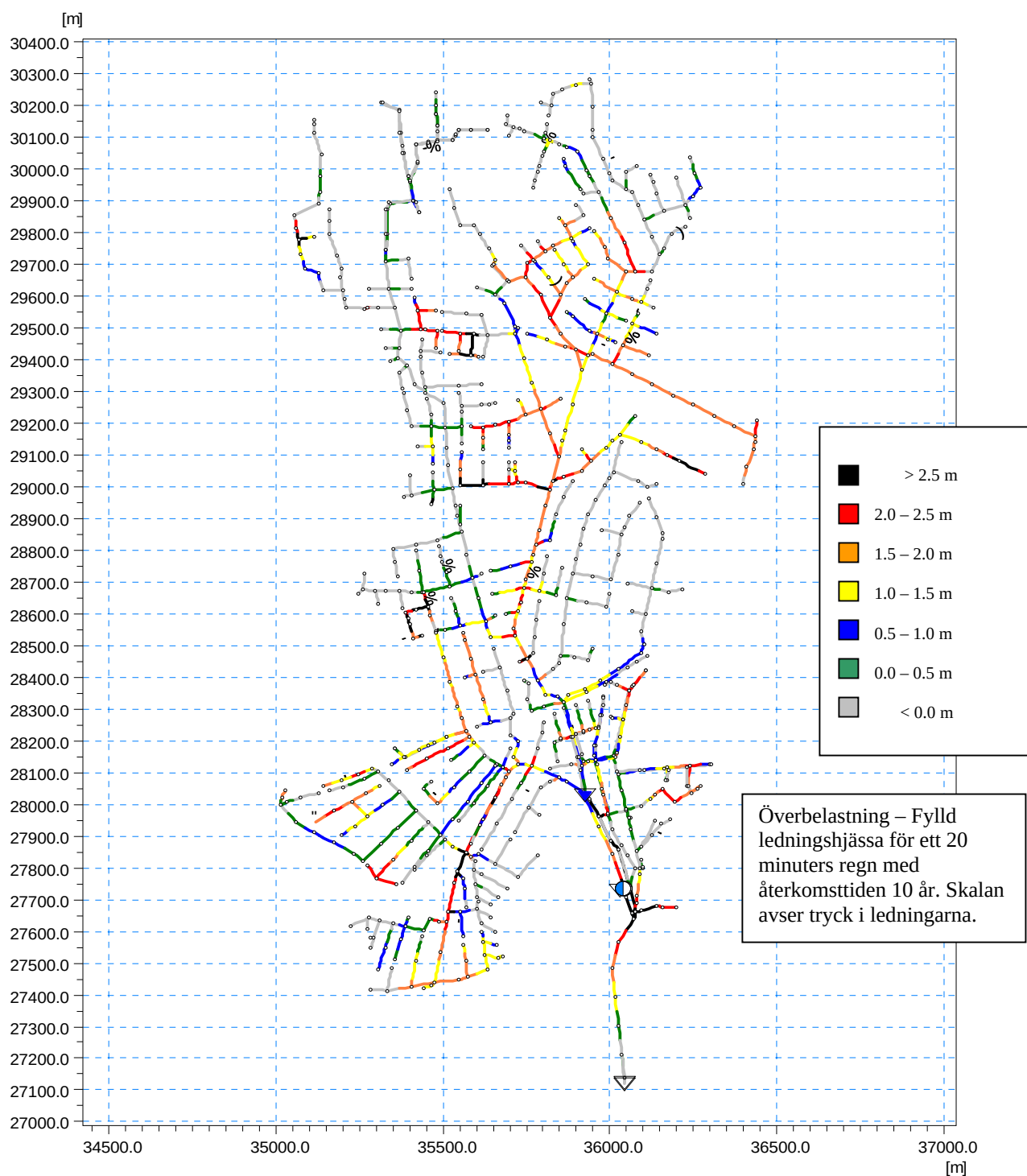
Bilaga I3

Överbelastning – Fylld ledningshjässa
 Ledningsdimension Ø600+ Ø800, skibord 13.30



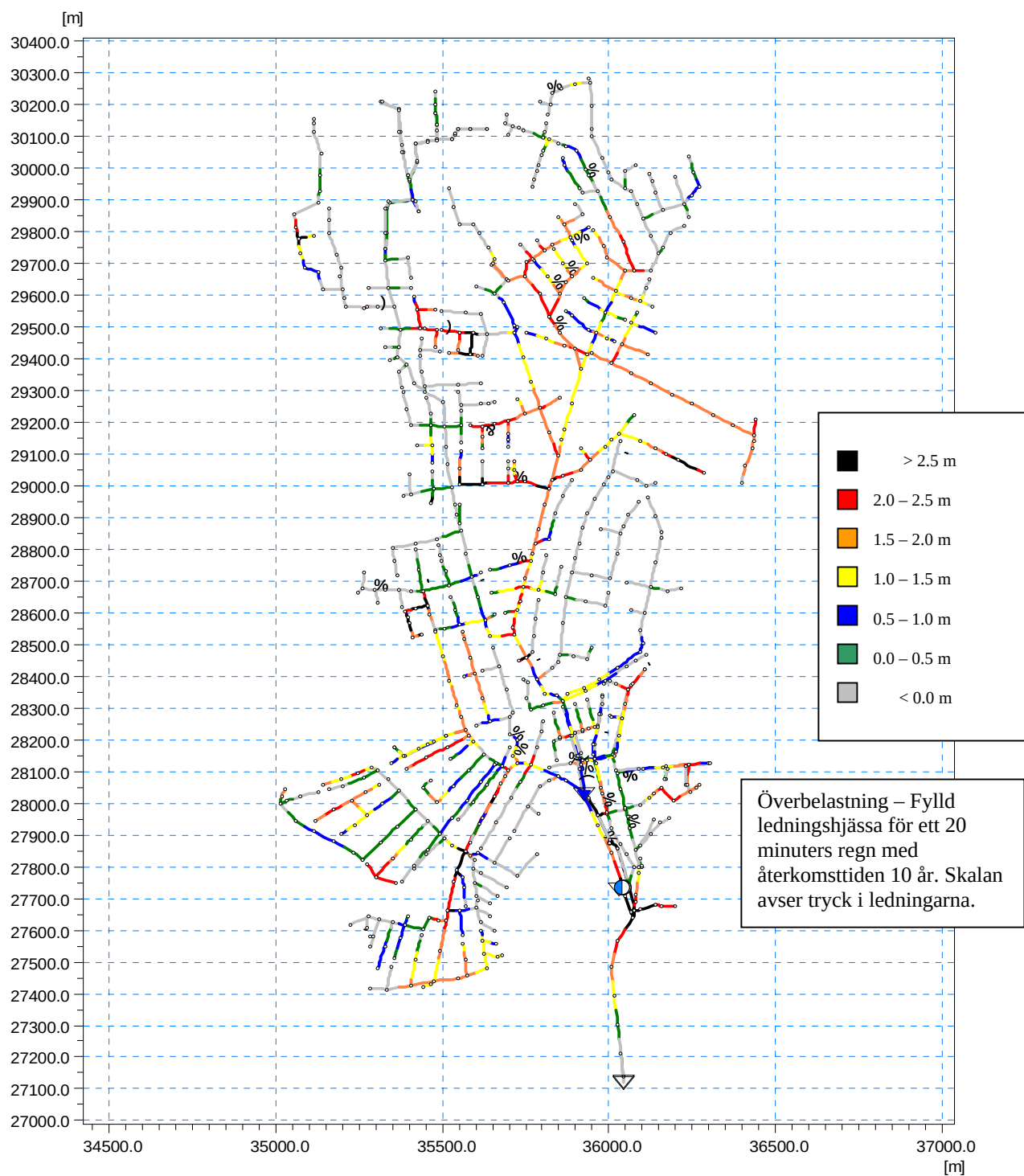
Bilaga I4

Överbelastning – Fylld ledningshjässa
 Ledningsdimension Ø500, skibord 13,00, Strypning med lucka

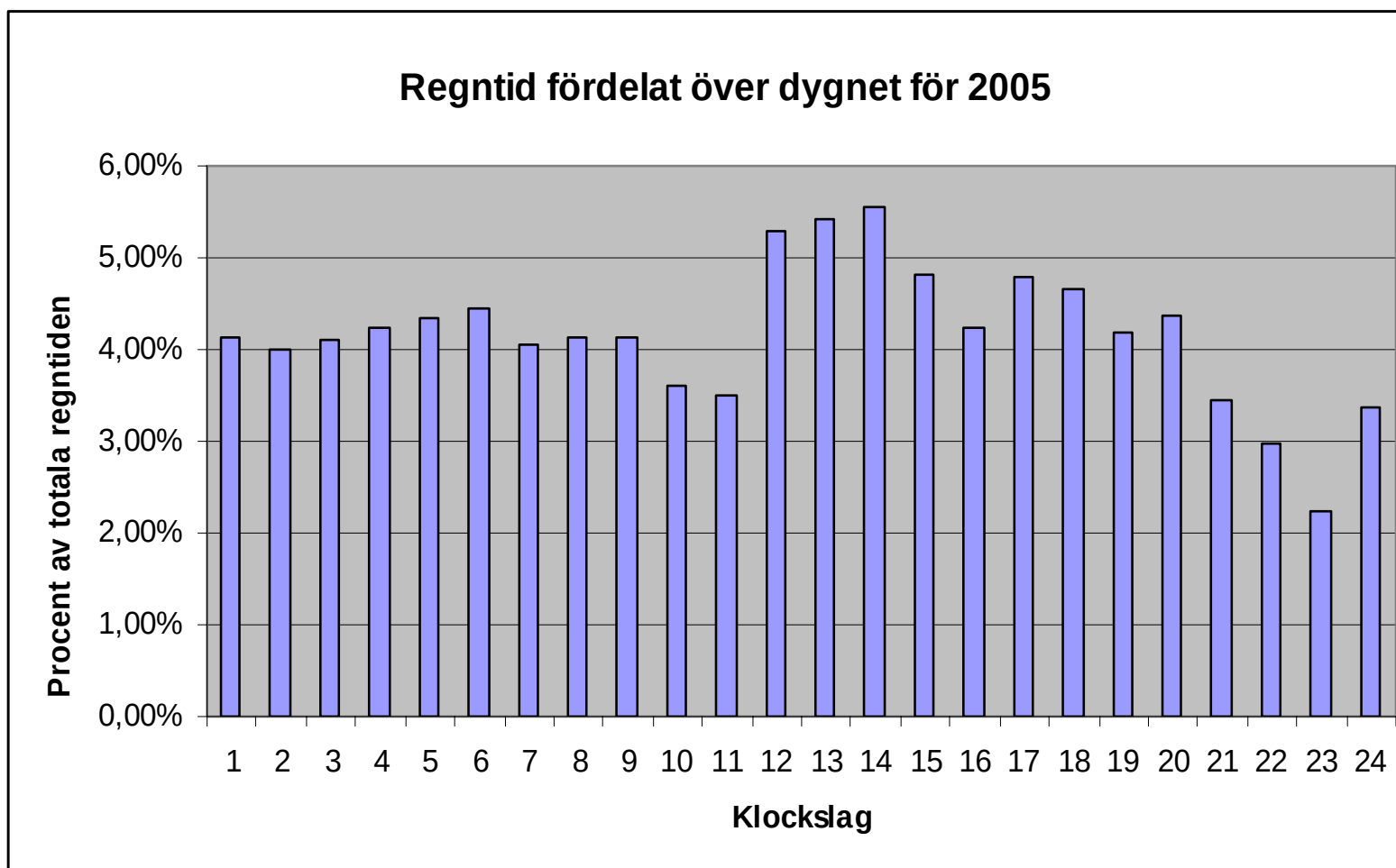


Bilaga I5

Överbelastning – Fylld ledningshjässa
 Ledningsdimension $\varnothing 600 + \varnothing 800$, skibord 13,00, Strykning med lucka



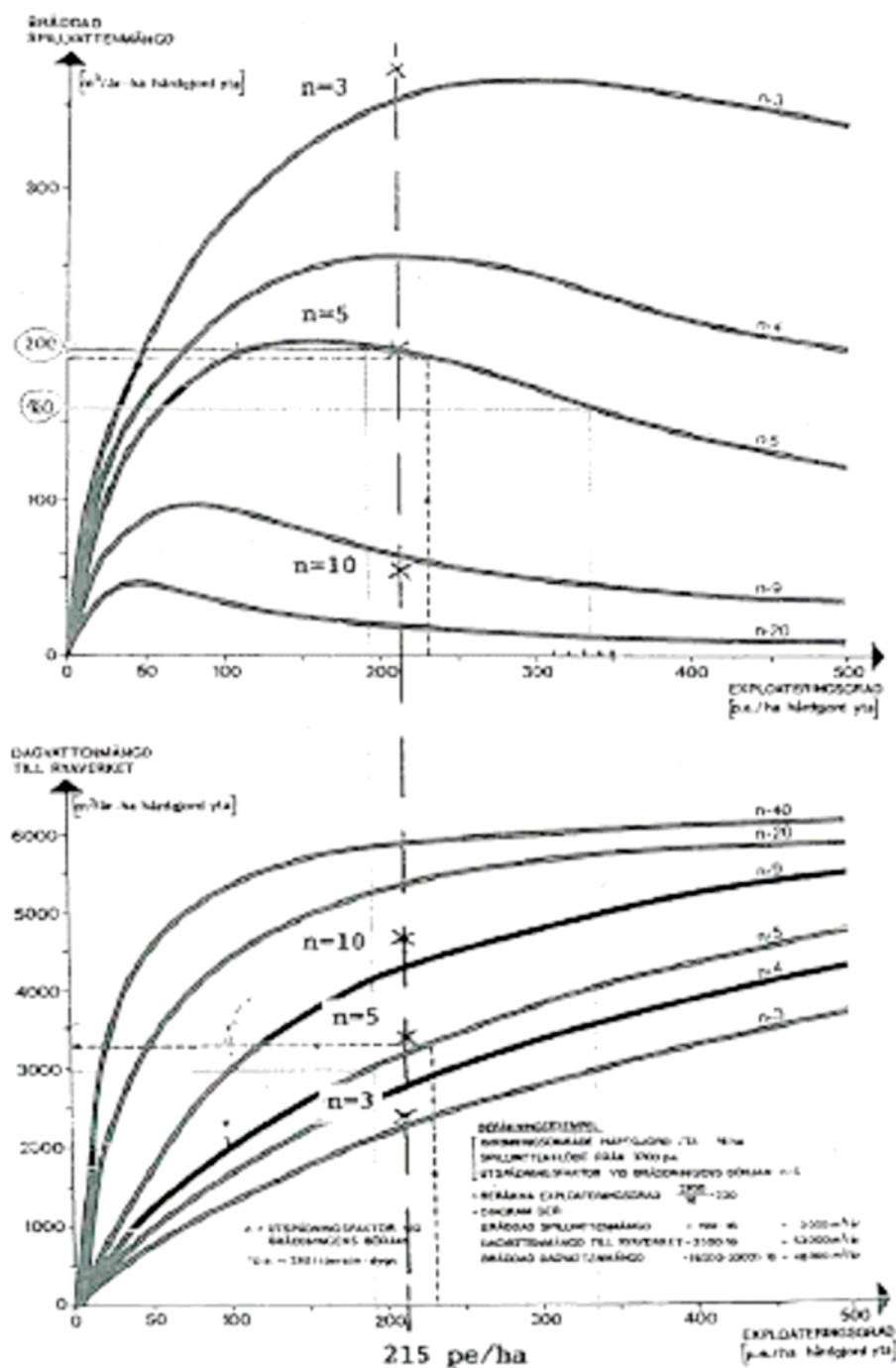
Bilaga J1
Regntid fördelat över dygnet 2005



Bilaga K1

Ballongkurvor – årlig bräddad mängd spillvatten- och dagvatten

Bräddad spillvattenmängd och dagvattenbelastning på Ryaverket
från kombinerat system - beräkningsdiagram



ST 05

Bilaga L1 Överbelastning – Vattennivå över markytan

